CORRELACION DE SOLUCIONES EXTRACTORAS DE FOSFORO EN SUELOS DE COSTA RICA¹/*

Gilberto Cabalceta **

ABSTRACT

Correlations among phosphorus extractant solutions on Costa Rican soils. Five different methods for P extraction, modified Olsen, Mehlich 3, Mehlich 1, Bray 1 and modified Morgan, were evaluated in different soil orders (Ultisols, Vertisols, Inceptisols and Andisols), using 25 soils for each order. The amount of extracted P depended on the solutions' chemical attributes and on soil properties. Solutions containing fluoride (Mehlich 3 and Bray 1) extracted similar amounts of P. Modified Olsen and Mehlich 1 methods gave similar results, except for Ultisols. The Andisols order showed the highest amount of extracted P with every method, except for modified Morgan, while the Ultisols showed the lowest values. There was a high correlation between methods in all soil orders; however, the highest correlation coefficients (r>0.9) were obtained with Mehlich 3, Mehlich 1 and Bray 1 solutions, except for Mehlich 3 on Vertisols. Modified Olsen and Morgan solutions presented the highest correlation coefficients only in Ultisols and Vertisols. These results show that these methods can be adapted to different soil conditions (physical, chemical and biological). Regression equations are given for all significant soil type: solution correlations.

INTRODUCCION

27/22

La correlación de soluciones extractoras se puede utilizar para comparar el comportamiento de una solución con respecto a otra.

Los valores de correlación que se presenten entre las soluciones están determinados tanto por las características de los extractantes como por las propiedades de los suelos. De ahí que sea fundamental establecer estas comparaciones por órdenes de suelos.

La importancia y utilidad de asociar soluciones entre sí, radica en que los resultados obtenidos con una metodología pueden entonces ser transformados a otra y, por lo tanto, posibilitar una mejor interpretación.

Uno de los objetivos paralelos del estudio para determinar los niveles críticos de P por grupos de suelos en Costa Rica con diferentes soluciones extractoras, publicado en el número anterior de esta revista (Cabalceta y Cordero, 1994), consistió en el establecimiento de las correlaciones entre todas las soluciones extractoras empleadas.

^{1/} Recibido para publicación el 1 de noviembre de 1993.

Parte de la Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, presentada por el autor ante la Universidad de Costa Rica.

^{**} Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

En la literatura universal existen diversidad de informes sobre la correlación entre las diferentes soluciones extractoras de P, especialmente en relación a soluciones como Bray 1 (Bationo et al., 1992), Olsen Modificado (Thomas y Peaslee, 1973), Mehlich 1, Mehlich 2 entre sí, y, recientemente, contra Mehlich 3 (Mehlich, 1984; Wolf y Baker, 1985; Michaelson et al., 1987; Tran et al., 1990), sin embargo, para suelos en Costa Rica la información es muy escasa.

También existe el método Morgan Modificado, al que se le atribuyen ciertas ventajas generales pues permite la determinación de muchos elementos a la vez; sin embargo, en relación con el P, de antemano se cuenta con informes poco satisfactorios sobre su comportamiento para estimar el P disponible (Kamprath y Watson, 1980).

En Costa Rica destacan los trabajos realizados por Coward (1975) para suelos de diferentes zonas del país y en el que se involucraron algunas soluciones como: Olsen Modificada, Bray 2, Egner Riehm y Mehlich 1; asimismo, se cuenta con el estudio efectuado por Vargas et al. (1992) en suelos arroceros de Guanacaste, en el cual, el orden de magnitud de extracción varió de la siguiente manera: Troug > Bray 2 > Mehlich 1 > Olsen Modificado > Bray 1.

El objetivo del presente estudio fue comparar 5 soluciones extractoras de P empleadas en Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Andisoles de Costa Rica, con el fin de facilitar la extrapolación de resultados entre uno y otro método, y propiciar una mejor interpretación de los mismos.

MATERIALES Y METODOS

Los muestreos de los 4 órdenes de suelo, las localidades donde se realizaron y la metodología utilizada en el laboratorio para extraer y cuantificar el P de cada suelo con cada solución extractora, se detallan en una publicación anterior efectuada en esta misma revista (Cabalceta y Cordero, 1994).

Se realizaron análisis de correlación entre las cantidades extraídas de P con los diferentes métodos de análisis. Las correlaciones se hicieron para el total de los suelos muestrados y por orden individual. Complementariamente, se obtuvieron también correlaciones entre las cantidades de P extraídas por los 5 métodos y otras propiedades del suelo (pH, materia orgánica, arcillas, arcillas + limos).

RESULTADOS Y DISCUSION

Correlación de soluciones extractoras de P

En los Cuadros 1 y 2 se resume la información referente a la correlación de soluciones de P en diferentes grupos de suelos de Costa Rica, así como las ecuaciones matemáticas que respaldan la asociación de tales soluciones en todos los casos en los que los resultados fueron altamente significativos (Cuadro 2).

En el Cuadro 1, se muestra que las correlaciones entre las cantidades de P extraídas por los diferentes métodos empleados, a saber, Morgan Modificado, Bray 1, Mehlich 1, Mehlich 3 y Olsen Modificado, en los distintos grupos de suelos, fueron en general, muy buenas.

Para los Ultisoles y Andisoles, las correlaciones fueron muy altas (de r=0,758** a r=0,989**), y todos los valores obtenidos fueron altamente significativos. Esto permite afirmar que en estos 2 órdenes los valores de extracción entre uno y cualquier otro método podrían transformarse con bastante seguridad, utilizando las ecuaciones resumidas en el Cuadro 2.

En cuanto a los Inceptisoles y Vertisoles, se obtuvieron valores de correlación un poco más bajos (hasta r=0,317), aunque algunas soluciones tuvieron correlaciones por encima de r=0,9**.

En los Vertisoles, no dió correlación significativa para las soluciones Morgan Modificado y Mehlich 3 (r=0,317); y para Mehlich 3 con Bray 1 (r=0,564**), y con Mehlich 1 (r=0,545**), las correlaciones fueron bajas, aunque altamente significativas. Se ha demostrado (Blanchar y Cadwell, 1964; Nesse y Grava, 1986) una reducción en el coeficiente de correlación con Bray 1 en suelos calcáreos, debido a que el ácido es neutralizado por el CaCO₃ y el F⁻ es precipitado mediante la liberación del Ca, reduciendo de esta manera el potencial de los extractantes para remover P. Existen otras pruebas de correlación donde Bray 1 se comporta bien en suelos calcáreos (Olsen et al., 1954b) y se sugirió que otras propiedades, aparte de los carbonatos, influyen en la determinación, por lo que en muchos casos se evita el uso de ácidos en la extracción de P en suelos calcáreos. En teoría se ha creído que el pH influye en los resultados, pero algunos autores consideran que su efecto es inconsistente, por los variables resultados que han obtenido (Fixen y Carson, 1978; Thompson y Pratt, 1954). Por ejemplo, Tran y Giroux (1987) informan que en suelos calcáreos el

Cuadro 1. Coeficiente de correlación (r) entre soluciones extractoras de P, en 4 órdenes de suelos de Costa Rica y en general (100 suelos estudiados).

	Mr. No.				
	Morgan Mod.	Bray 1	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen Mod
		ULTISC	DLES		
Morgan Mod. Bray 1 Mehlich 1 Mehlich 3 Olsen Mod.		0,948** 	0,918** 0,968** 	0,870** 0,946** 0,943**	0,894** 0,913** 0,891** 0,914**
		INCEPTIS	SOLES		
Morgan Mod. Bray 1 Mehlich 1 Mehlich 3 Olsen Mod.		0,778**	0,623** 0,912* 	0,723** 0,914** 0,920**	0,521** 0,607** 0,785** 0,757**
		VERTIS	OLES		
Morgan Mod. Bray 1 Mehlich 1 Mehlich 3 Olsen Mod.		0,896**	0,920** 0,994** 	0,317 0,564** 0,545**	0,864** 0,974** 0,973** 0,620**
		ANDISC	OLES		
Morgan Mod. Bray 1 Mehlich 1 Mehlich 3 Olsen Mod.		0,840**	0,766** 0,969** 	0,858** 0,989** 0,961**	0,881** 0,877** 0,758** 0,884**
		GENERAL (100 s	uelos estudios)		
Morgan Mod. Bray I Mehlich 1 Mehlich 3 Olsen Mod.		0,479**	0,528** 0,968** 	0,287** 0,941** 0,896**	0,531** 0881** 0,808** 0,828**

3.119 FOLE

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión lineal y coeficientes de determinación (R²) de 5 soluciones extractoras de P en suelos de Costa Rica.

Ecuación de regresión		Coeficiente de determianción (R ²)			
	ULTISOLES				
Olsen Mod.	1,325 + 1,444 Mehlich 3	0,836			
Olsen Mod.	2,605 + 0,551 Morgan Mod.	0,803			
Olsen Mod.	3,172 + 1,972 Mehlich 1	0,795			
Olsen Mod.	3,118 + 0,939 Bray 1	0,793			
Mehlich 3	1,091 + 0,338 Morgan Mod.				
Mehlich 3	1,326 + 1,320 Mehlich 1	0,755			
Mehlich 3	1,319 + 0,616 Bray 1	0,889			
Morgan Mod.	1,319 + 3,299 Mehlich 1	0,894			
Morgan Mod.	1,196 + 1,585 Bray 1	0,842			
Mehlich 1	0,031 + 0,450 Bray 1	0,899			
	0,031 + 0,430 blay 1	0,937			
	INCEPTISOLES				
Olsen Mod. Olsen Mod.	1,524 + 0,479 Mehlich 3	0,573			
	4,029 + 0,757 Morgan Mod.	0,271			
Olsen Mod.	0,701 + 0,745 Mehlich 1	0,617			
Olsen Mod.	3,134 + 0,375 Bray 1	0,369			
Mehlich 3	4,909 + 1,662 Morgan Mod.	0,523			
Mehlich 3	-0,195 + 1,380 Mehlich 1	0,847			
Mehlich 3	2,199 + 0,893 Bray 1	0,836			
Morgan Mod.	0,596 + 0,406 Mehlich 1	0,388			
Morgan Mod.	0,579 + 0,331 Bray 1	0,605			
Mehlich 1	2,306 + 0,594 Bray 1	0,831			
	VERTISOLES				
Olsen Mod.	-0,259 + 0,825 Mehlich 3	0,385			
Olsen Mod.	4,799 + 0,190 Morgan Mod.	0,746			
Olsen Mod.	3,435 + 0,574 Mehlich 1	0,946			
Olsen Mod.	1,072 + 0,633 Bray 1	0,949			
Mehlich 3	8,500 + 0,242 Mehlich 1	0,297			
Mehlich 3	7,396 + 0,276 Bray 1	0,319			
Morgan Mod.	-2,288 + 2,464 Mehlich 1	0.847			
Morgan Mod.	-11,524 + 2,640 Bray 1	0,802			
Mehlich 1	-4,019 + 1,095 Bray 1	0,988			
	ANDISOLES				
Olsen Mod.	7,105 + 0.624 Mehlich 3	0.791			
Olsen Mod.	-0,521 + 1,620 Morgan Mod.	0,781			
Olsen Mod.	9,789 + 0,420 Mehlich 1	0,777			
Olsen Mod.	7,084 + 0,420 Memich 1	0,575			
Mehlich 3	-8,004 + 0,420 Bray 1 -8,004 + 2,234 Morgan Mod.	0,770			
Mehlich 3	-8,004 + 2,234 Morgan Mod. 2,664 + 0,755 Mehlich 1	0,735			
Mehlich 3		0,924			
Morgan Mod.	0,038 + 0,670 Bray 1	0,978			
Morgan Mod.	6,939 + 0,231 Mehlich 1	0,587			
Mehlich 1	5,778 + 0,218 Bray 1 -2,097 + 0,836 Bray 1	0,706 0,939			
	CORRELACION DE 100 SUELOS				
Olsen Mod.	2,829 + 0,647 Mehlich 3	0.696			
Disen Mod.	5,090 + 0,485 Mehlich 1	0,686			
Disen Mod.		0,652			
Mehlich 3	3,872 + 0,460 Bray 1	0,776			
Mehlich 3	4,092 + 0,689 Mehlich 1 2,685 + 0,629 Bray 1	0,803			
Mehlich 1		0,885			
ACHION I	-1,119 + 0,842 Bray 1	0,936			

extractante Bray 1 fue neutralizado, por lo que el P extraído fue menor que con Mehlich; sin embargo, entre ambas soluciones estos autores obtuvieron un coeficiente de correlación alto (r=0,98**), debido a que el ácido acético que posee Mehlich 3 fue encontrado más bufferizante y menos afectado por los carbonatos libres. Por otro lado, Tran et al. (1990) encontraron que Mehlich 3 extrajo casi la misma cantidad de P disponible que Bray 1 y señalan correlaciones de r=0,985** en suelos calcáreos. En el presente estudio, en Vertisoles de Costa Rica, esa correlación no fue muy alta (r=0,564**), pero los valores extraídos con Bray 1 y Mehlich 3 fueron muy parecidos (promedios de 11,7 y 10,4 mg P/L, respectivamente, Cuadro 3).

El efecto anteriormente señalado para Bray 1 también se ha observado cuando se correlaciona esta solución con Olsen Modificado, pero se ha concluido que estas 2 soluciones son buenas para ser utilizadas en la extracción de P en un ámbito de condiciones de suelos más amplio, excepto en calcáreos (Kamprath y Watson, 1980). En el caso de Vertisoles de Costa Rica la correlación de Bray 1 con Olsen Modificado fue excelente (r=0,974**), obteniéndose incluso mejores valores que en Ultisoles (r=0,913**); este comportamiento ha sido señalado anteriormente por John et al., (1967).

En Costa Rica la solución extractora más utilizada es la Olsen Modificada, la cual en Ultisoles tuvo una correlación por encima de r=0,891**, con las 5 soluciones estudiadas. Igual comportamiento se dió en los Andisoles, donde las correlaciones obtenidas estuvieron por encima de r=0,758**. Las menores correlaciones con esta solución Olsen Modificada se obtuvieron en el orden de los Inceptisoles.

En cuanto a la correlación entre Mehlich 3 y Olsen Modificado, para la cual otros autores han indicado correlaciones altas y significativas (Wolf y Baker, 1985; Munter et al., 1987), y que se vuelve de importancia en este momento por la tendencia actual en muchos laboratorios del mundo a la sustitución de una (Olsen Modificada) por la otra (Mehlich 3), en este estudio se encontró un muy buen valor de correlación entre ambas soluciones en Ultisoles (r=0,914**) (Cuadro 1 y 2). En segundo lugar se determinó una correlación de r=0,884**, en los Andisoles, seguida por los Inceptisoles (r=0,757**) y por último, el valor más bajo se obtuvo en los Vertisoles (r=0,620**).

Contenidos de P extraído

El Cuadro 3 expone los contenidos promedio, máximo y mínimo de P extraído con las 5 soluciones estudiadas en los diferentes órdenes de suelos de Costa Rica. También, se incluyen valores para otras 4 características edáficas, que permiten visualizar las particularidades de cada grupo de suelos.

Ultisoles. En el Cuadro 3 se observa que en Ultisoles la solución Olsen Modificada extrajo el doble de P que la solución Mehlich 3. Esto ocurrió posiblemente porque Olsen Modificado posee iones OH- (pH 8,5) que extraen P-Al y P-Fe a través de la hidrólisis del Al y del Fe (Tyner y Davide, 1962); también porque el HCO₃ es efectivo reemplazando P adsorbido (Olsen et al., 1954a), mientras que la solución Mehlich 3 posee F- que acompleja el Al y libera el P (Chang y Jackson, 1957; Fitts, 1956), y en este caso, aparentemente, no fue muy efectivo en su función en estos suelos. Resultados diferentes han sido encontrado por Tran et al. (1990), donde la solución Mehlich 3 extrajo hasta 3 veces más que Olsen, con una correlación muy buena (r=0,89**) y, por Molina y Cabalceta (1990) en otros Ultisoles de Costa Rica, donde extrajeron hasta 1,5 veces más P con Mehlich 3 que con Olsen Modificado, con un coeficiente de correlación alto (r=0,889**). En este estudio se obtuvo que Mehlich 3 extrajo 2.6 veces más P que Mehlich 1 (Cuadro 3); esta última es una solución de ácidos fuertes diluidos, con pH entre 2 y 3 que disuelve P-Ca > P-Al > P-Fe (Thomas y Peaslee, 1973), por lo que se esperaría que se extrajera cantidades parecidas a Mehlich 3. Otros autores encontraron que Mehlich 3 extrajo 1,3 veces más que Mehlich 1 (Tran et al., 1990). Mehlich 1 es recomendada para suelos con pH 7 ó menor (Fitts, 1956).

Inceptisoles. En este orden de suelos Mehlich 3 extrajo la mayor cantidad de P (11,2 mg P/L como promedio, Cuadro 3) y el doble que la solución Olsen Modificada. Esto se debió, posiblemente, a que los Inceptisoles son un grupo muy heterogéneo (Tropepts, Aluviales, etc.) y que las formas de extraer de estas 2 soluciones son muy diferentes; soluciones alcalinas como Olsen Modificado extraen preferiblemente P-Al y soluciones ácidas extraen principalmente P-Ca (Kamprath y Watson, 1980). En otros estudios se han encontrado contenidos de P con Mehlich 3 de 3 a 6 veces más

AGRONOMIA COSTARRICENSE

Cuadro 3. Contenido de P extraíble y otras propiedades químicas en 4 órdenes de suelos de Costa Rica y a nivel general.

			3 Morgan Mod. mg P/L			M.O. %	pН		Arci+limos
			UL1	TISOLES					
Promedio	5,2	2,7	4,7	1,0	2,2	5,9	5,2	46	68
Máximo	21,9	14,2	29,0	8,2	18,8	9,7	6,4	78	94
Mínimo	1,3	1,2	0,02	0,01	0,13	1,9	4,1	22	45
Desv. Est.	4,3	2,7	7,0	1,7	4,2	2,3	0,5	13	13
Error Est.	0,9	0,5	1,4	0,4	0,8	0,5	0,1	3	3
•			INCE	PTISOLES					
Promedio	6,9	11,2	3,6	8,6	10,3	4,1	6,1	32	69
Máximo	26,2	32,4	15,0	26,3	35,4	9,9	7,4	55	98
Mínimo	0,5	1,8	0,02	1,0	0,6	1,0	5,0	14	28
Desv. Est.	6,5	10,1	3,8	6,9	10,5	1,9	0,5	10	17
Error Est.	1,3	2,0	0,8	1,4	2,1	0,4	0,1	2	3
			VER	TISOLES					
December	9.4	10.4	20.0	9.0	11.7	2.4		40	. 75
Promedio Máximo	8,6 51,9	10,4 29,1	20,0 232,2	8,9 87,8	11,7 83,0	3,4 5,6	6,7 7,8	42 70	75 85
Mínimo	0,3	1,7	0,2	0,0	2,0	1,6	7,0 5,5	70 19	85 51
Desv. Est.	10,6	7,6	48,0	18,0	16,3	1,0	0,6	11	9
Error Est.	2,1	1,6	9,6	3,6	3,3	0,2	0,1	2	ź
			ANI	DISOLES				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
	10.0	10.5	44.0					**	
Promedio	18,8	18,5	12,0	20,9	27,5	10,8	5,8	26 76	51
Máximo Mínimo	76,2 2,2	99,6 0.5	·	148,0	151,4	24,0	6,3	76 2	96 10
Desv. Est.	20,7	0,5 29,5	11,2	1,2 37,5	0,1 43,5	4,1 5,6	4,6 0,4	2 24	19 25
Error Est.	4,2	5,9	2,2		8,7	1,2	0,4	5	5
			GE	NERAL			<u> </u>		
Desmadia	0.0	10.9	10.0	0.0	12.0	<i>C</i> 1	5.0	26	
Promedio Máximo	9,8 76.2	10,8 99,6	10,0 232,2	9,8	13,0	6,1	5,9	36 70	66
Mínimo	76,2 0,3	99,6 0,5	0,02	148,0 0,0	151,4 0,1	24,0 1,0	7,8 4,1	78 2	98 19
Desv. Est.	13,0	16,7	25,1	21,6	24,9	4,3	0,7	17	19
Error Est.	1,3	1,7	2,5	2,2	2,5	0,4	0,7	2	2
	-,-	-,,	-,-		-,-	-, .	٥,2	-	-

a Metillia

altos que los extraídos con Olsen (Thomas y Peaslee, 1973; Tran *et al.*, 1990), manteniendo sin embargo, buenas correlaciones, cercanas a r=0,90**.

Vertisoles. Vargas et al. (1992) encontraron el siguiente orden de extracción en suelos arroceros: Mehlich 1 > Olsen Modificado > Bray 1; mientras que en este estudio el orden que se encontró fue el siguiente: Bray 1 > Mehlich 1 > Olsen Modificado, con valores similares (11,7; 8,9 y 8,6 mg P/L como promedio, respectivamente, Cuadro 3).

En relación a Mehlich 3, para este orden de suelo se observó una tendencia a extraer más P con Mehlich 3 (promedio de 10,4 mg P/L) que con Olsen Modificado (promedio de 8,6 mg P/L), aunque en un caso específico, Olsen Modificado extrajo una cantidad mayor (51,9 mg P/L) que con Mehlich 3 (29,1 mg P/L). Este comportamiento había sido preliminarmente descrito por Molina y Cabalceta (1990), los cuales obtuvieron valores promedios de 11,5 mg P/L con Mehlich 3 y de 6,7 mg P/L con Olsen Modificado en Vertisoles de Costa Rica, con coeficientes de correlación de 0.889. Esta mayor extracción de P con Mehlich 3 que con Olsen se fundamenta en que la acción del F desplazando al fosfato de los P-Ca, P-Al y P-Fe, al ocurrir en un medio ácido (con un pH de 2,9 que se mantiene durante la extracción) se ve maximizada (Mehlich, 1984).

Andisoles. En este orden de suelos se extrajeron cantidades de P muy parecidas con las soluciones Olsen Modificada y Mehlich 3 (18,8 y 18,5 mg P/L, como promedio, respectivamente Cuadro 3). Esto significa que se podría estimar con suficiente confianza el valor de P que correspondería con la solución Mehlich 3, a partir de los datos obtenidos con Olsen Modificado, mediante el uso de la ecuación señalada en el Cuadro 2.

En este orden de suelo predominan, en la fracción arcillosa, la alofana y la imogolita; el P se fija fuertemente sobre la superficie de materiales amorfos y en los complejos Al-humus, siendo en estos últimos donde se da la mayor fijación (Espinosa, 1992). Por esta razón hay que tener mucho cuidado con los estudios de calibración en estos suelos ya que no siempre han dado buenos resultados, cuando se compara el P extraído en el laboratorio con la cosecha o los requisitos de fertilizantes.

En cuanto a las cantidades de P que se extrajeron con la solución Mehlich 1, estas fueron muy similares a las extraídas con Mehlich 3 (1,13 veces más, Cuadro 3). Resultados semejantes fueron obtenidos por Tran y Giroux (1987).

En este grupo de suelos Bray 1 fue la solución que más cantidad de P extrajo (27,5 mg P/L), contrario a lo encontrado por Michaelson *et al.* (1987), donde Mehlich 3 removió mucho más P que Bray 1.

Correlación y contenido general de P en 100 suelos de Costa Rica

Entre las 5 soluciones extractoras se obtuvo una correlación muy buena (Cuadro 1), excepto para las soluciones Morgan Modificado con Olsen Modificado y las soluciones Bray 1 con Morgan Modificado; a pesar de obtenerse una correlación altamente significativa, los valores fueron r=0,531** y r=0,479**, respectivamente.

La correlación entre Mehlich 3 y Olsen Modificado fue muy buena (Cuadro 1) además de que ambas soluciones extrajeron cantidades de P muy parecidas (Cuadro 3). Es importante esta correlación para suelos de Costa Rica, debido a que la solución extractora utilizada por la mayoría de laboratorios de suelos es Olsen Modificada, por lo que se podría predecir con la ecuación de regresión, el valor que corresponde a Mehlich 3, o viceversa.

No se encontraron correlaciones significativas entre las cantidades de P extraídas con las diferentes soluciones extractoras y el pH, materia orgánica, arcillas y arcilla+limos.

CONCLUSIONES

Las soluciones Mehlich 3, Olsen Modificada, Mehlich 1 y Bray 1 poseen un amplio rango de adaptación a diferentes condiciones de suelo, lo que las hace ser factibles de selección para los procedimientos de análisis de suelo de Costa Rica.

La solución Olsen Modificada ha sido la más usada para extraer P en nuestro país en los últimos años, pero presenta una serie de problemas de manejo en el laboratorio, debido a que su viscosidad obstruye las mangueras de los equipos y a la interferencia generada por el color amarillo proveniente de la materia orgánica.

La solución Mehlich 3 es una de las más prometedoras para ser usadas en análisis de suelos en Costa Rica, con excepción de los Ultisoles, donde los valores de extracción fueron bajos al compararlos con los otros órdenes, pero con un afinamiento en su calibración, esta solución podría ser utilizada.

La solución Olsen Modificada correlaciona con coeficientes altos y altamente significativos con todas las otras soluciones, en los Ultisoles y Andisoles; y con valores un poco menores en Inceptisoles y Vertisoles.

Es importante este estudio para el país, porque permite predecir la concentración de P que pueden extraer varias soluciones, con solo obtener el dato de una.

RESUMEN

Se evaluaron métodos de extracción de P en 4 órdenes de suelos de Costa Rica: Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles, utilizando 25 suelos de cada orden; con las siguientes soluciones extractoras: Olsen modificada, Mehlich 3, Mehlich 1, Bray 1 y Morgan modificada.

Las cantidades extraídas dependieron mucho de la naturaleza química de la solución y de las propiedades de cada orden de suelo. Las soluciones que poseen fluoruro (Mehlich 3 y Bray 1) extrajeron cantidades semejantes de P en todos los órdenes, salvo en Andisoles, en donde Bray 1 extrajo un poco más. También, Olsen Modificada y Mehlich 1 tuvieron esa misma tendencia, con excepción de los Ultisoles. Todas las soluciones, con excepción de Morgan Modificada, mostraron mayores extracciones de P en el orden Andisol y menores valores en el orden Ultisol.

Hubo una buena correlación entre métodos en todos los órdenes de suelo. Sin embargo, los coeficientes más altos (r>0,9) se presentaron entre las soluciones Mehlich 3, Mehlich 1 y Bray 1, en todos los suelos estudiados excepto Mehlich 3 en los Vertisoles, lo que demuestra que se pueden adaptar a muchas condiciones diferentes (físicas, químicas y biológicas) de suelo, dando una condición óptima para escoger las metodologías de análisis. Hubo buenas correlaciones (r>0,864) entre las otras 2 soluciones (Olsen Modificada y Morgan Modificada) excepto en Inceptisoles. Para todas las correlaciones significativas se suministran las ecuaciones de regresión.

LITERATURA CITADA

BATIONO, A.; MANU, A.; MODWUNYE, A.U. 1992. Soil phosphorus status and use of different calibration tests to predict phosphorus requirement and response of selected crops of West Africa. *In* Proceedings of the trop-

- Soils phosphorus decision support system workshop, College Station, TX, March 11-12, 1992. Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, HI. p. 109-115.
- BLANCHAR, R.W.; CADWELL, A.C. 1964. Phosphorus uptake by plants and readily extractable phosphorus in soil. Agron. J. 56:218-221.
- CABALCETA, G.; CORDERO, A. 1994. Niveles críticos de fósforo en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica. Agronomía Costarricense 18(2):147-161.
- COWARD, H. 1975. Correlación y calibración de métodos empleados en la determinación de P en el suelo. Tesis Lic. Química, San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. 67 p.
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-144.
- ESPINOSA, J. 1992. Phosphorus diagnosis and recommendations in volcanic ash soils. In Proceedings of the trop-Soils phosphorus decision support system workshop, College Station, TX, March 11-12, 1992. Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, HI. p. 109-115.
- FTTTS, J.W. 1956. Soil tests compared with greenhouse and laboratory results. N. C. Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. 121.
- FIXEN, P.E.; CARSON, P.L. 1978. Relationship between soil test and small grain response to P fertilization in field experiments. Agron. J. 70:838-844.
- JOHN, M.K.; vanRYSWYK, A.L.; MASON, J.L. 1967. Effect of soil order, pH, texture and organic matter on the correlation between phosphorus in alfalfa and soil test values. Can. J. Soil Sci. 47:157-161.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. *In* The role of phosphorus in agriculture. Ed. by F.E. Khasawneh *et al.* Madison, WI, ASA. p. 471-514.
- MEHLICH, A. 1978. Influence of fluoride, sulfate acidity on extractable phosphorus, calcium, magnesium and potassium. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 9:455-476.
- MEHLICH, A. 1984. Mehlich 3 soil extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15(12):1409-1416.
- MICHAELSON, G.J.; PING, G.L.; MITCHELL, G.A. 1987. Correlation of Mehlich 3, Bray 1 and ammonium acetate extractable P, K, Ca, and Mg for Alaska agricultural soils. Comm. in Soil Sci. Plant Anal. 18(9):1003-1015.
- MOLINA, E.; CABALCETA, G. 1990. Correlación de diferentes soluciones extractoras de Vertisoles y Ultisoles de Costa Rica. Agronomía Costarricense 14(1):37-44.

- MUNTER, R.; ELIASON, R.; FLAUS, M. 1987. A comparison of Mehlich III soil extractant with conventional extractant on typical Minnesota soil. *In* Committee on soil testing and plant analysis and the Subcommittee on soil extractants. (13., 1987, Saint Louis, Missouri). University of Minnesota, St. Paul, Minnesota, NCR.
- NESSE, P.; GRAVA, J. 1986. Correlation of several tests for phosphorus with resin extractable phosphorus on alkaline soils. In A report on field research in soils. University of Minnesota Agric. Exp. Stn. Misc. Publ. 2. p. 218-220.
- OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. 1954a. Estimation of available phosphorus in soils by extractions with sodium bicarbonate. USDA circular No. 939.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S.; COSPER, H.R.; LARSON, W.E.; NELSON, L.B. 1954b. Residual phosphorus availability in long-time rotations on calcareous soil. Soil Sci. 78:141-151.
- THOMAS, G.W.; PEASLEE, D.E. 1973. Testing soils for phosphorus. p.115-132. *In* Soil testing and plant analysis. Ed. by L.M. Walsh and J.D. Beaton. SSSA, Madison, WI.
- THOMPSON, L.F.; PRATT, P.F. 1954. Solubility of phosphorus in chemical extractants as indexes to available

- phosphorus in Ohio soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18:467-470.
- TRAN, T.S.; GIROUX, M. 1987. Disponibilité du phosphore dans les sols du Québec en relation avec leurs caractéristiques chimiques et physiques. Can. J. Soil Sci. 67:1-16.
- TRAN, T.S.; GIROUX, M.; GUILBEAULT, J.; AUDESSE, P. 1990. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec soils. Comm. in Soil Sci. Plant Anal. 21(1&2):1-28.
- TYNER, E.H.; DAVIDE, J.G. 1962. Some criteria for evaluating phosphorus tests for lowland rice soils. *In* Trans. Comm. IV and V Int. Soc. of Soil Sci. Ed. by G.L. Neale. Palmerston North, New Zealand. Soil Bureau, P.B., Lower Hutt, New Zealand. p. 625-634.
- VARGAS, M.; BERTSCH, F.; CORDERO, A. 1992. Comparación de métodos de extracción de fósforo, potasio, calcio y magnesio disponible en Vertisoles de Guanacaste, Costa Rica. Agronomía Costarricense 16(1):115-123.
- WOLF, A.M.; BAKER, D.E. 1985. Comparison of soil test phosphorus by Olsen, Bray P₁, Mehlich I and Mehlich III methods. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 16(5):467-484.