COMPARACION DE METODOS DE EXTRACCION DE FOSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO DISPONIBLE EN VERTISOLES DE GUANACASTE, COSTA RICA¹/*

Marvin Vargas **
Floria Bertsch ***
Alvaro Cordero ***

ABSTRACT

Extraction methods for available phosphorus, potassium calcium and magnesium in Guanacaste Vertisols, Fourteen samples from the arable layer of rice-cropped vertisols in the Province of Guanacaste were collected, to compare several methodologies for the extration of P, K, Ca and Mg, The amount of P extracted showed the following decreasing order: Truog (35,6±35,0 mg/L), Bray 2 $(7,4\pm6,2 \text{ mg/L})$, Mehlich $65,8\pm6,3 \text{ mg/L})$, Modified Olsen $(7,4\pm2,3)$ mg/L) and Bray 1 (2,7±2,3 mg/L). When extractans were compared with each other. Bray 1 and Bray 2 showed the highest correlation (r=0,39). The order of exchangeable K extraction by the extractaants used was; NH₄ OAc (0,37±0,26 cmol (+)L) > Mehlich 1 (0,24 \pm 0,20 cmol(+)/L) > Modiffied Olsen (0,11 \pm 0,06 cmol(+)/L). Non-exchangeable K, as extracted with HN₃ 1N, ranged from 1,10 to 2,66 cmol(+)/L. The best correlation between extractans was given by Modified Olsen and NH₄ OAc (r=0,82**) and the lowest one by Mehlich 1 and HNO₃ (r=0, 45**). Solutions NH₄ OAc, KCl and Mehlich 1 were used to extract Ca and Mg. The first two removed very similar amounts of each nutrient $(40,1\pm8,5 \text{ and } 41,0\pm18.1 \text{ cmol}(+) \text{ Ca/L}, \text{ and } 22,0\pm5,0 \text{ and } 16,7\pm3,54 \text{ cmol}(+)$ Mg/L, respectively). Mehlich 1 extracted 5.3±2,5 cmol(+) Ca/L 4,9±2,3 cmol(+) Mg/L1 Correlation values bewteen KCl and NH₄ OAc were 0,79** and 0.87** for Ca and Mg, respectively, Mehlich 1 showed very low correlation coefficients with KCl and NH₄ OAc (r=0,19), for both cations, Correlations of the best of these solutions and yield are urgently needed, in order to be able to establish local critical levels for each nutrient, as well as for the main varieties of crops most frequently grown on the different soil groups in the country.

INTRODUCCION

En la provincia de Guanacaste existen aproximadamente 1000 km² (100.000 ha) de suelos clasificados como Vertisoles, que son utilizados principalmente para el cultivo del arroz.

Estos suelos presentan una alta proporción de arcillas, principalmente montmorillonitas (Sancho et al., 1984), que les confiere una alta capacidad de intercambio catiónico. En general, contienen elevadas cantidades de Ca y Mg pero

^{1/} Recibido para publicación el 25 octubre de 1991.

Parte de la tesis de Ing.Agr. presentada por Marvin Vargas Salazar ante la Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. La segunda autora es miembro del Programa de Apoyo Financiero a Investigadores Científicos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Costa Rica.

^{*} Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Dirección actual: Oficina del Arroz. San José, Costa Rica.

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

son bajos en P disponible debido a la alta fijación que sufre este elemento (Bertsch, 1986).

Para la determinación de los nutrimentos disponibles se utilizan diferentes soluciones extractoras y procedimientos analíticos según el tipo de suelo y el cultivo. Por ejemplo, para P se usan soluciones diluidas de ácidos fuertes (HCl. H₂SO₄, HNO₃) a veces acompañadas de un ión acomplejante (HCl+NH₄F) (Olsen v Sommers, 1982), ácidos débiles diluidos (ácido cítrico, ácido láctico, ácido acético, etc.) (Jackson, 1958), y soluciones alcalinas tamponadas, dentro de las cuales la más comúnmente usada es la que contiene NaHCO₃ (Olsen y Sommer, 1982; Kamprath y Waltson, 1980). Las formas de fosfato mineral. fosfatos de Ca, Fe y Al, están estrechamente relacionadas con la disponibilidad de este elemento (Fassbender, 1966) y reaccionan en forma diferente con cada solución, por lo que es necesario conocer las formas predominantes de fosfatos en los suelos para seleccionar el extractante que podría reflejar mejor el P disponible en determinado grupo de suelos (Coward, 1975).

Para determinar el K intercambiable se ha usado la solución NH₄OAc 1N pH 7, como una medida adecuada del K aprovechable por las plantas (Frye, 1978; Ortiz, 1978; Knudsen et al., 1982), aunque no siempre este extractante ha dado resultados satisfactorios (Hanke et al. (1978). Entre otras soluciones que han sido probadas se encuentran: Mehlich 1 (HCl+H₂SO₄), Kentucky (H₂SO₄ 0,15N), Bray 2 (HCl+NH₄F), Barbier (Acido Cítrico), Egner-Rhiem (Lactato de Ca), Olsen Modificado (NaHCO₃) y HNO₃ (Suárez, 1968; Hanke et al., 1978; Ortiz, 1978; Molina, 1985; Haby et al., 1990).

Para el Ca y el Mg intercambiables, la técnica de extracción comúnmente usada implica el desplazamiento de los iones adsorbidos mediante el uso de soluciones salinas, tamponadas o no, como NH₄Cl, NH₄OAc, NaCl y BaCl₂, entre otras (Heald, 1965), aunque generalmente se emplea la solución NH4OAc 1N pH 7 (Lanyon y Heald, 1982; Haby et al., 1990). Se utilizan altas concentraciones pues se procura extraer todo lo intercambiable, sin embargo, hay que evitar que se solubilicen compuestos adicionales (Lanyon v Heald, 1982). Los ácidos fuertes no son recomendables porque pueden disolver Ca y Mg no intercambiable y carbonatos libres (Doll y Lucas, 1973), mientras que los ácidos débiles no extraen toda la fracción intercambiable, subestimando la cantidad de estos elementos que pueden ser disponibles a las plantas (Doll y Lucas, 1973). La solución KCl 1N (Díaz-Romeu y Hunter, 1978) ha dado buenos resultados en Costa Rica y es una de las metodologías que utilizan actualmente los laboratorios del Ministerio de Agricultura (MAG), del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y de la Universidad de Costa Rica (UCR) para la determinación de Ca y Mg.

Conocer las cantidades de nutrimentos que pueden ser extraídas en los suelos con diferentes metodologías permite establecer el comportamiento de cada solución y las semejanzas que existen entre ellas; además, provee un mayor criterio para la evaluación del estado nutricional de los suelos, al permitir la comparación de las cantidades extraídas con los niveles críticos previamente establecidos en la literatura para cada solución.

El presente trabajo tiene como objetivo comparar los contenidos de P, K, Ca y Mg extraídos con diferentes metodologías en Vertisoles cultivados con arroz en Guanacaste.

MATERIALES Y METODOS

Se tomaron 14 muestras de suelo de la capa arable (0-20 cm), después de la cosecha de arroz en plantaciones comerciales de este cultivo en los cantones de Carrillo y de Santa Cruz en la provincia de Guanacaste. La ubicación geográfica y la clasificación de cada suelo se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación geográfica y clasificación de los suelos estudiados.

Cantón	Finca	Clasificación		
Carrillo	Porvenir, lote 19	Entic Pellustert		
Santa Cruz	La Conchita, Tajo	Entic Pellustert		
Santa Cruz	La Conchita, El Tino	Entic Pellustert		
Santa Cruz	Bernabelle	Entic Pellustert		
Santa Cruz	Zanja Negra	Entic Pellustert		
Santa Cruz	Las Tecas, Miguelazo	Entic Pellustert		
Carrillo	Rancho Gerslin, Terrazas	Entic Pellustert		
Santa Cruz	San Diego	Entic Pellustert		
Carrillo	Porvenir, lote 18	Typic Pellustert		
Santa Cruz	La Conchita, El Alto	Typic Pellustert		
Santa Cruz	La Conchita, Zonzapote	Typic Pellustert		
Santa Cruz	La Conchita, Marta Digna	Typic Pellustert		
Carrillo	Ojochal, Las Pilas	Typic Pellustert		
Carrillo	La Piragua	Typic Pellustert		

Cuadro 2.	Métodos de extracción utilizados	para los diferentes elementos.
-----------	----------------------------------	--------------------------------

Elemento	Método	Solución extractora	Relación suelo: solución	Agitación	Referencia	
P	Olsen Modificado	NaHCO ₃ 0,5N; EDTA 0,01M; Superfloc 127, pH 8,5	1:10	30 min	Hunter, 1977	
	Bray 1	HCl 0.025N; NH ₄ F 0.03N	1:7	1 min	Jackson, 1958	
	Bray 2	HCl 0,1 N; NH ₄ F 0,03N	1:7	40 seg	Jackson, 1958	
	Truog	H ₂ SO ₄ 0,002N	1:200	30 min	Jackson, 1958	
	Mehlich 1	HCl 0,05N; H ₂ SO ₄ 0,025	1:4	5 min	Olsen y Sommer, 1990	
K	Olsen Modificado	NaHCO ₃ 0,5N; EDTA 0,01M; Superfloc 127, pH 8,5	1:10	30 min	Hunter, 1977	
	Acetato de Amonio	NH ₄ OAc 1N, pH 7	1:10	20 min	Pratt, 1965	
	Mehlich 1	HCl 0,05N; H2SO4 0,025N	1:4	5 min	Olsen y Sommer, 1990	
	Acido Nítrico	HNO ₃ 1N	1:10	15 min	Pratt, 1965	
Ca y Mg	Cloruro de Potasio	KCl 1N	1:10	10 min	Díaz-Romeu y Hunter, 1978	
,	Acetato de Amonio	NH₄OAc 1N, pH 7	1:10	20 min	Pratt, 1965	
	Mehlich 1	HCl 0,05N; H ₂ SO ₄ 0,025N	1:4	5 min	Olsen y Sommer, 1990	

Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios del Centro de Investigaciones Agronómicas de la UCR y de la Unidad de Suelos del MAG. Los suelos se secaron al aire, se molieron y se pasaron por una criba de 2 mm. A cada muestra se le efectuaron extracciones con todas las soluciones cuyos métodos se resumen en el Cuadro 2. Estos métodos se eligieron con base en el éxito con que se han empleado en otros países, su simplicidad, y su posibilidad de ser usados para varios elementos a la vez, lo que permite usarlos rutinariamente.

El P se determinó colorimétricamente (López y González, 1967) y el K, Ca y Mg se determinaron en el espectrofotómetro de absorción atómica.

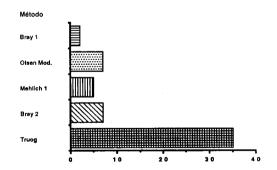
RESULTADOS Y DISCUSION

Fósforo

Cantidades extraídas y estado nutricional. Las cantidades promedio de P extraído por cada solución extractora se aprecian en la Figura 1.

El orden en la magnitud de extracción varió en la siguiente forma: Truog >> Bray 2 > Mehlich 1 > Olsen Modificado > Bray 1 (Figura 1). Las cantidades extraídas con Truog fueron hasta 5 veces mayores que con cualquiera de las otras soluciones. Esto no significa que para estos suelos el método de Truog sea el mejor y el de Bray 1 el

peor, pues para la determinación de la eficiencia de un extractante se deben considerar las correlaciones entre los valores extraídos con la solución y el rendimiento de algún cultivo. En investigaciones previas, Ortega (1963-1964), Daza y Muller (1965), y Araos (1968), utilizando los mismos



		Media	±	d.e. mg/L	N.C.	Cultivo	Referencia
Bray 1		2,7	±	2,3	1 0		Guerrero (1980)
Olsen Mod.	⊡	7,4	±	2,3	3	erroz	Cardera (1974)
Mehlich 1	Ø	5,8	±	6,3	8	maiz	Percy (1972)
Bray 2		7,4	±	6,2	2 0	trigo	Guerrero (1980)
Truog	9	35,6	±	35,0	10	trigo	Guerrero (1980)

Fig. 1. Concentración promedio y desviación estándar (d. e.) de P extraído con diferentes soluciones en 14
 Vertisoles de Guanacaste, Costa Rica.
 N.C. = nivel crítico sugerido por la literatura para

esa solución.

extractantes en diferentes tipos de suelos encontraron un orden de extracción similar. Específicamente para suelos con dominancia de fosfatos de Ca, semejantes a los de este estudio, Balerdi et al. (1968) encontraron otra orden. Sin embargo, para otros grupos de suelos con otros tipos de fosfatos dominantes, la situación es diferente. Sánchez et al. (1991), en un Oxisol de Manaus (Brasil) obtuvieron la siguiente secuencia: Bray 1 > Olsen Modificado > Mehlich 1.

Posiblemente, los factores que más influyeron para que el método de Truog extrajera las mayores cantidades de P fueron: la naturaleza fuerte del ácido que la constituye, la alta relación suelo-solución (1:200), el tiempo de agitación y la propiedad del sulfato de evitar la readsorción de los fosfatos (Jackson, 1958; Kamprath y Waltson, 1980). Asimismo, la relación suelo-solución y el tiempo de agitación mucho menores para Bray 1 (Randall y Grava, 1971; Smith et al., 1957), podrían explicar los bajos valores de P disponible obtenidos con este método.

Al comparar los contenidos de P extraídos con los diferentes métodos contra los niveles críticos informados por la literatura, y que se incluyen en la Figura 1, se observa que para algunas soluciones (Bray 1, Bray 2 y Mehlich 1), la mayoría de estos suelos deberían clasificarse como deficientes en P, pues sus valores son inferiores al nivel crítico respectivo, mientras que para otras, como Truog y Olsen Modificado, la mayoría de estos suelos presentan valores superiores a dicho nivel, lo que sugiere suficiencia de P. Esto demuestra que no siempre existe un acuerdo entre la cantidad de P aprovechable extraído con determinado método y los niveles críticos sugeridos por la literatura para ese método, pues en muchos casos, éstos han sido obtenidos por correlación con suelos de características climáticas, edáficas y de manejo diferentes, por lo que no se pueden utilizar sin discriminación para hacer interpretaciones en condiciones locales. También, los niveles críticos son directamente dependientes de la especie vegetal y aún de la variedad, por lo que su valor puntual es muy relativo y debe manejarse con la cautela necesaria. Lo meior será establecer los niveles críticos de cada nutrimento, para las variedades de los cultivos que más comúnmente se siembren en los diferentes grupos de suelos presentes en el país.

En Costa Rica, para P, la solución Olsen Modificada es la única cuyo nivel crítico ha sido

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre las soluciones extractoras de P. usadas en Vertisoles.

An .	Bray 1	Mehlich 1	Olsen Mod.	Truog
Bray 2	0,96**	0,88**	0,72**	0.58**
Bray 1		0,86**	0,74**	0.50**
Mehlich 1		•	0.67**	0.62**
Olsen Mod.			,	0,39**

* Altamente significativo.

parcialmente calibrado para arroz (3 mg/L, recientemente ajustado a 5 mg/L (Cordero, 1991)) y maíz (10 mg/L) (Cordero y Miner, 1974), considerando una gran gama de suelos, por lo que, en estos Vertisoles, resulta esperable encontrar respuestas moderadas a los fertilizantes fosforados.

Comparación entre soluciones extractoras de P. Los coeficientes de correlación entre los métodos químicos se muestran en el Cuadro 3. Se observan correlaciones altamente significativas entre todos los métodos, lo que indica que todas las soluciones extraen P en forma proporcionalmente semejante en estos suelos. Sin embargo, los mayores coeficientes se observan entre las soluciones ácidas Bray 1, Bray 2 y Mehlich 1, que tienen en común la presencia del HCl que disuelve satisfactoriamente los fosfatos de Ca (Olsen v Sommers, 1990) predominantes en estos suelos. En el caso de Mehlich 1, además, el H₂SO₄ contribuye en esa disolución y previene la readsorción. Estas 3 soluciones, Bray 1 y 2, y Mehlich 1, asociaron su comportamiento en aproximadamente un 70% con el extractante Olsen Modificado. El coeficiente entre Truog y Olsen Modificado. aunque altamente significativo, fue el más bajo (r=0.39).

Aunque la correlación con el rendimiento de un cultivo es el único criterio válido para establecer la eficiencia de una solución extractora, existen algunas observaciones que pueden calificar o descalificar de antemano algunas de las soluciones probadas.

Para un grupo de suelos tan homogéneo como es el de los Vertisoles, la presencia de desviaciones estándar altas, iguales o mayores a la media, como es el caso de las soluciones Truog y Mehlich 1, definitivamente resta potencialidades prácticas a estos extractantes. Es probable que estas soluciones estén actuando sobre algunos tipos de fosfatos que no necesariamente están

disponibles para las plantas. Es importante que una solución ofrezca un ámbito amplio, pero cuando incluye suelos genéticamente diversos, que correspondan con toda la gradiente de concentraciones. En el caso de suelos semejantes, una buena solución extraerá cantidades parecidas de todos.

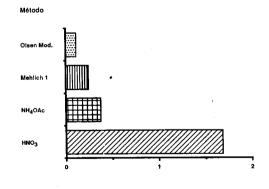
La solución Bray 1, además de una desviación estándar relativamente alta (85% de la media), presenta un ámbito de valores muy bajo, lo que puede inducir a mayor error de laboratorio.

Por las razones anteriores, de las soluciones para P evaluadas en este estudio, Olsen Modificado y Bray 2 prometen ser las más importantes a considerar en estudios posteriores de correlación en invernadero o campo para este grupo de suelos.

Potasio

Cantidades extraídas y estado nutricional. El ámbito y los promedios de concentración de K en Vertisoles determinados por las diferentes metodologías, se presentan en la Figura 2.

El NH₄OAc extrajo las mayores cantidades de K intercambiable mientras que el método de Olsen Modificado fue el que removió las menores. Si se comparan los valores de K extraído por



		Media	s ±	d.e. mg/L	N.C.	Cultivo	Referencia
Disen Mod.	0	0,11	±	0,06	0,20	arroz	Cordero (1974)
Mehlich 1		0,24	÷	0,20			
NH ₄ OAC	B	0,37	±	0,26	0,25	arroz	Frye (1978)
HNO ₃	12	1,68	±	0,78	0,45	sorgo	Moline (1985)

Fig. 2. Concentración promedio y desviación estándar (d. e.) de K extraído con diferentes soluciones en 14 Vertisoles de Guanacaste, Costa Rica.
 N.C. = nivel crítico sugerido por la literatura para la solución correspondiente en esa en ese renglón.

ambas soluciones con los niveles críticos respectivos señalados por la literatura, indicados en la Figura 2, se encuentra que los valores aportados por NH₄OAc sugieren suficiencia en K intercambiable, mientras que los valores encontrados con Olsen Modificado son muy inferiores al nivel crítico. La realidad práctica en el país indica que en estos suelos, por lo menos para el caso del arroz, es común encontrar respuesta a fertilizantes potásicos (Sancho et al., 1984), por lo tanto, dentro de estas soluciones, la Olsen Modificada promete ser la más acertada. Resultados similares fueron obtenidos por Frye (1978) v Hanke et al. (1978), quienes encontraron que el NH4OAc no ha correlacionado con la respuesta de los cultivos en el campo. Hanke et al. (1978) mencionan que suelos fijadores de K son lo que han tenido los resultados más discrepantes con esta solución extractora, y sugieren elevar los niveles críticos a un ámbito de 1.0-1.75 cmol(+)/l.

El K extraído con HNO₃ presenta valores (Figura 2) muy superiores al K removido por las otras soluciones ya que que el HNO₃, además del K intercambiable extrae parte del K que constituye la estructura de los minerales primarios y secundarios y que se encuentra fijado (Suárez, 1968). Esta fracción de K, aunque no es asimilable en forma inmediata por las plantas, constituye una apreciable reserva de este elemento, que se moviliza lentamente y pasa a la fracción de cambio durante el ciclo de cultivo (Wiklander, 1954) por lo que su estimación resulta importante.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre las soluciones extractoras de K, Ca y Mg, usadas en Vertisoles.

	NH ₄ OAc	Mehlich 1	HNO ₃
K			
Olsen Mod.	0,82**	0,73**	0,57**
NH₄OAc		0,55**	0,53**
Mehlich 1			0,45**
Ca			
KC1	0,79**	0,17**	
NH ₄ OAc sub		0,11ns	April 18
Mg	*		KCi
KČI	0,87**	0.19*	
NH₄OAc	-,-,	0,19*	الهاب ا

 ⁼ Significativo.

^{** =} Altamente significativo.

ns = No significativo.

Comparación entre soluciones extractoras de K. En el Cuadro 4 se observan las correlaciones entre las soluciones empleadas para la extracción de K. Todas fueron significativas al 1%. Olsen Modificado presentó los mayores coeficientes con las demás soluciones.

Molina (1985) al comparar las soluciones HNO₃, NH₄OAc y Olsen Modificado en suelos volcánicos de Costa Rica, encontró coeficientes de 0,99 para cada comparación, mientras que en el presente estudio las correlaciones entre estas metodologías presentaron coeficientes de 0,53 y 0,57, respectivamente. La diferencia en resultados enfatiza la diferencia entre Vertisoles y Andisoles; cada solución reacciona diferente frente a los distintos constituyentes coloidales de los suelos. Sin embargo, en ambos trabajos se obtuvo alta correlación en la comparación de NH₄OAc y Olsen Modificado, lo que indica que ambas soluciones extraen K en cantidades proporcionales en los 2 grupos de suelos.

Una ventaja que podría tener la solución de NH₄OAc sobre la de Olsen Modificado en la determinación de K en Vertisoles, sería que presenta valores de extracción más altos, lo que podría atenuar los errores de laboratorio; sin embargo, Olsen Modificado, al igual que en el caso de P, fue uno de los extractantes que presentó

menores desviaciones estándar, y por lo tanto, ofrece una caracterización más precisa del K en este grupo de suelos tan homogéneo. El HNO₃ es otra solución con una desviación estándar relativamente baja (41% de la media).

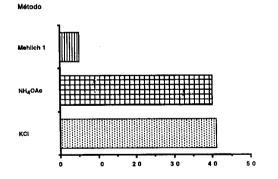
La correlación de estas soluciones, HNO₃, Olsen Modificado y NH₄OAc, contra rendimiento, específicamente en Vertisoles, es una información importante de obtener a corto plazo.

Calcio y Magnesio

Cantidades extraídas y estado nutricional. Los valores de Ca y Mg se observan en las Figuras 3 y 4. La solución NH₄OAc y el KCl removieron cantidades muy similares, y las más altas, para ambos nutrimentos. Mehlich 1 removió las menores cantidades de Ca y Mg.

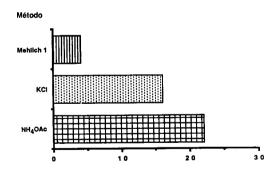
Al comparar estos valores con las guías de interpretación sugeridas por la literatura (indicadas en las Figuras 3 y 4) para estas soluciones, se comprueba que estos suelos contienen cantidades muy altas de estos nutrimentos, lo que coincide con la información anterior (Bertsch, 1986).

Al relacionar estos altos valores de Ca y Mg con las bajas cantidades de K extraído, es posible suponer severos desbalances en las relaciones Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K, acentuándose la deficiencia de K en estos suelos, como se ha



		Media ±	d.e. mg/L	N.C.	Cultivo	Referencia
Mehilch 1	П	5,3 ±	2,5			
NH ₄ OAc	##	40,1 ±	8,6	3	maíz	Guerrero (1980)
ксі		41,0 ±	8,1	4	varios	Bertach (1986)

Fig. 3. Concentración promedio y desviación estándar (d. e.) de Ca extraído con diferentes soluciones en 14 Vertisoles de Guanacaste, Costa Rica.
 N.C. = nivel crítico sugerido por la literatura para esa solución.



Método		Media			N.C. Cultive		Referencia		
Mehilch 1	Ш	4,9	±	2,3					
ксі		16,7	±	3,5	1	varios	Bertsch (1986)		
NH ₄ OAc	Ħ	22,0	±	6,9	0,3	maíz	Guerrero (1980)		

Fig. 4. Concentración promedio y desviación estándar (d. e.) de Mg extraído con diferentes soluciones en 14 Vertisoles de Guanacaste, Costa Rica.
 N.C. = nivel crítico sugerido por la literatura para esa solución.

informado en investigaciones previas (Ramírez, 1984; Sancho et al., 1984).

Comparación entre soluciones extractoras de Ca y Mg. Al correlacionar los valores de Ca y Mg obtenidos con las soluciones utilizadas, se observa que tanto para Ca como para Mg los coeficientes de correlación entre KCl y NH₄OAc son elevados y altamente significativos, lo que significa que guardan muy alta proporcionalidad (Cuadro 4) y que la interpretación de Ca y Mg que pueda hacerse a estos suelos con cualquiera de estas soluciones es similar (Gillman et al., 1982). Esto puede atribuirse a la capacidad de sustitución semejante del Ca y Mg por los iones K y NH₄. Para ambos elementos las desviaciones estándar de las 2 soluciones son bajas.

Mehlich 1 no guarda una alta correlación con NH₄OAc ni con Olsen Modificado, pues se observan coeficientes inferiores a 0,20, por lo que podría inferirse que esta solución es diferente en su modo de acción a las otras soluciones utilizadas. Además, las bajas cantidades extraídas por Mehlich 1 en ambos casos, unidas a una desviación estándar importante, le restan funcionalidad como solución de rutina, pues permitirá que el error de laboratorio resulte más significativo.

RESUMEN

Se escogieron 14 muestras de la capa arable de Vertisoles cultivados con arroz en la provincia de Guanacaste, para comparar la extracción de P, K, Ca y Mg con varias metodologías.

La cantidad de P extraída mostró el siguiente orden decreciente de extracción: Truog (35,6±35,0 mg/L), Bray 2 (7,4±6,2 mg/L), Mehlich 1 (5,8±6,3 mg/L), Olsen Modificado (7,4±2,3 mg/L) y Bray 1 (2,7±2,3 mg/L). Al hacer la comparación entre extractantes, Bray 1 y Bray 2 presentaron la más alta correlación (r=0,96**) y Olsen Modificado y Truog, la más baja (r=0,39**).

El orden de extracción de K intercambiable por los extractantes empleados fue: NH_4OAc $(0,37\pm0,26\ cmol(+)/L) > Mehlich 1 <math>(0,24\pm0,20\ cmol(+)/L)$ > Olsen Modificado $(0,11\pm0,06\ cmol(+)/L)$. El K no intercambiable o de reemplazo, extraído con HNO_3 1N fluctuó entre 1,10 y 2,66 cmol(+)/L. La mejor correlación entre

extractantes la presentaron Olsen Modificado y NH₄OAc (r=0,82**) y la más baja fue la de Mehlich 1 con HNO₃ (r=0,45**).

Para extraer Ca y Mg se utilizaron las soluciones NH₄OAc, KCl y Mehlich 1. Las 2 primeras removieron cantidades muy parecidas para cada uno de los nutrimentos (40,1±8,5 y 41,0±8,1 cmol(+) Ca/L, y 22,0±5,9 y 16,7±3,5 cmol(+) Mg/L, respectivamente). Mehlich 1 extrajo valores de 5,3±2,5 cmol(+) Ca/L y 4,9±2,3 cmol(+) Mg/L. Los valores para las correlaciones entre KCl y NH₄OAc fueron 0,79** y 0,87** para Ca y Mg, respectivamente. Mehlich 1 presentó muy bajos coeficientes de correlación con KCl y NH₄OAc (r=0,19) para ambos cationes.

Resulta imprescindible contar a corto plazo con correlaciones de las mejores de estas soluciones contra rendimiento, para poder establecer los niveles críticos locales de cada nutrimento, para las principales variedades de los cultivos que se siembran más frecuentemente en los diferentes grupos de suelos del país.

LITERATURA CITADA

- ARAOS, J.F. 1968. Comparación de métodos de análisis de suelos para estimar la disponibilidad de fósforo. Agricultura Técnica (Chile) 31(2):75-81.
- BALERDI, F.; MULLER, L.; FASSBENDER, H.W. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. Turrialba 18(4):348-360.
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Oficina de Publicaciones, Universidad de Costa Rica. 76 p.
- CORDERO, A.; MINER, G. 1974. Programa de calibración de análisis de suelos para la fertilización del arroz y maíz en Costa Rica. In Manejo de suelos en la América Tropical. Ed. por E. Bornemisza y A. Alvarado. Raleigh, North Carolina State University. p. 533-548.
- CORDERO, A. 1991. Información generada durante los últimos 10 años en la fertilización y la fertilidad de suelos en el cultivo del arroz en Costa Rica. San José, Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre los granos básicos en Centroamérica-CORECA-CEE-IICA. s.p.
- COWARD, H. 1975. Correlación y calibración de métodos empleados en la determinación de P en el suelo. Tesis Lic. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. 67 p.

- DAZA, J.; MULLER, L. 1965. Comparación de cinco métodos químicos para la determinación de fósforo en algunos suelos tropicales. Turrialba 15(3):249-251.
- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal, e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- DOLL, E.; LUCAS, R. 1973. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. *In* Soil testing and plant analysis. Ed. by L. Walsh and J. Beaton. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. p. 133-152.
- FASSBENDER, H.W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las Llanuras Atlánticas de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana 3(1/2):187-202.
- FIXEN, P.E.; GROVE, J.H. 1990. Testing soils for phosphorus. In Soil testing and plant analysis. Ed. by R.L. Westerman. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. p. 141-180.
- FRYE, A. 1978. El potasio en los suelos de zonas cálidas secas de Colombia. Suelos Ecuatoriales 9(2):44-51.
- GILLMAN, G.P.; SKJEMSTAD, J.O.; BRUCE, R.C. 1982. A comparison of methods used in Queensland for determining cation exchange properties.

 Melbourne, Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Soils Technical Paper no. 44. 18 p.
- GUERRERO, R. 1980. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. In Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Ed. por F. Silva. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 174-193.
- HABY, V.A.; RUSSELLE, M.P.; SKOGLEY, E.O. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. *In Soil testing and plant analysis*. Ed. by R.L. Westerman. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. p. 181-227.
- HANKE, F.; CONTRERAS, P.E.; GALVIS, R.A.; AMAYA, J.C. 1978. La comparación de 5 métodos químicos de análisis de potasio asimilable con 2 métodos biológicos en 7 suelos en series diferentes de Bogotá. Suelos Ecuatoriales 9(2):126-133.
- HEALD, W.R. 1965. Calcium and magnesium. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 999-1010.
- HUNTER, A. 1977. Soil analysis procedure using modified NaHCO₃ extractant solution. Raleigh, North Carolina State University, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. 6 p.
- JACKSON, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 498 p.

- KAMPRATH, E.J.; WALTSON, 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, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 433-464.
- KNUDSEN, D.; PETERSON, G.A.; PRATT, P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. In Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Part 2. Ed. by A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America. p. 225-246.
- LANYON, L.E.; HEALD, W.R. 1982. Magnesium, calcium, strontium and barium. In Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Part 2. Ed. by A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America.
- LOPEZ, C.; GONZALEZ, M. 1967. Métodos de análisis químicos para suelos. San José, Laboratorio de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. 46 p.
- MOLINA, E. 1985. Restitución de potasio y fertilización con P y K en seis andepts de Costa Rica. Tesis Ing.Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 115 p.
- OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E. 1982. Phosphorus. In Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Part 2. Ed. by A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America. p. 403-430.
- ORTEGA, T.R. 1963-1964. Correlación entre métodos de análisis químicos del fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos del maíz. Agricultura Técnica en México 2(4):48-51.
- ORTIZ, G. 1978. Correlación entre la capacidad de suministro de potasio y varios métodos de extracción química de este elemento en suelos de seis regiones de Colombia. Suelos Tropicales 9(2):109-119.
- PRATT, P.F. 1965. Potassium. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. v. 2, p. 1022-1030.
- RAMIREZ, M.G. 1984. Estudio sobre la fertilidad del arroz en Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. s.p.
- RANDALL, G.W.; GRAVA, J. 1971. Effect of Bray 1 ratios on the amount of phosphorus extracted from calcareous Minnesota soils. Soil Science Society of America Proceedings 35:112-114.
- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; SMYTH, T.J. 1991.
 Phosphorus dynamics in shifting cultivation

systems in the amazon. In Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems regional workshop (3., 1989, Maracay, Venezuela). Saskatoon, Canada, The Saskatchewan Institute of Pedology, University of Saskatchewan. p. 142-160.

- SANCHO, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1984.

 Fertilidad actual de tres toposecuencias en el
 Pacífico Seco de Costa Rica. Agronomía
 Costarricense 8(1):9-16.
- SMITH, F.; ELLIS, B.; GRAVA, J. 1957. Use of acid fluoride solution for extraction of available P in calcareous

- soils and in soils to which rock phosphate has been added. Soil Science Society of America Proceedings 21:400-404.
- SUAREZ, A. 1968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, IICA. 305 p.
- WIKLANDER, L. 1954. Forms of potassium in the soil. In Potassium Symposium. Zurich, International Potash Institute. p. 109-121.