

# EFEECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELOS Y ROCAS FOSFÓRICAS SOBRE EL FÓSFORO DISPONIBLE

*Effect of soil and phosphate rock characteristics on the available phosphorus*

Teodoro Herrera<sup>1</sup> y Eduardo Casanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Apartado Postal 4579. Maracay. Venezuela.

## Resumen

Muestras de cinco suelos ácidos fueron incubadas con cinco rocas fosfóricas venezolanas en dosis de 500 mg P.kg<sup>-1</sup> durante por lo menos 100 días. Las fracciones de fósforo lábil y fósforo extraído con solución Bray fueron determinadas en las muestras incubadas en intervalos crecientes de tiempo durante el lapso de incubación. Las cantidades de fósforo lábil extraídas de las incubaciones con las rocas mostraron tendencia a correlacionarse negativamente con la capacidad de adsorción de fósforo de los suelos, mientras que las cantidades de fósforo extraídas con solución Bray se correlacionan positivamente con el Índice de Adsorción de fósforo de Bache y Williams (1971). Los resultados obtenidos en las incubaciones de suelos con rocas fosfóricas muestran que el patrón de disolución de éstas y la magnitud de las fracciones de P extraídas dependen de las características de las rocas y los suelos.

**Palabras Claves:** roca fosfórica, adsorción de fósforo, P Bray, P lábil, suelos ácidos.

## Abstract

Samples of five soils were incubated with each one of five Venezuelan phosphate rocks. The rate used was 500 mg P.Kg<sup>-1</sup> soil and the experiments were carried out for at least 100 days. Fractions of labile P and Bray extractable P were obtained at increasing time intervals during the incubation period. A negative relation was found between the amount of labile P extracted during the incubation and the adsorption capacity of the soil. The amount of P-Bray extracted was found to be positively and highly correlated with the Bache-Williams Adsorption Index. The results obtained in the incubations with rocks showed that the patterns of dissolution and the magnitude of P fractions depend on the characteristics of both rocks and soils.

**Key Words:** phosphate rock, phosphate adsorption, Bray P, labile P, acid soils.

## INTRODUCCIÓN

Al aplicar un fertilizante altamente soluble a un suelo con capacidad para fijar fósforo, la cantidad de fósforo disponible disminuye progresivamente como consecuencia de reacciones de precipitación y adsorción. Por el contrario, la aplicación de roca fosfórica a un suelo ácido induce a un proceso en el cual la cantidad de fósforo disponible se incrementa en la medida en que ocurre la disolución de la roca. El fósforo, una vez en solución, puede ser precipitado o adsorbido por los materiales con superficies activas principalmente óxidos de hierro y aluminio. La adsorción de los productos de la reacción causarían un incremento en la disolución de la roca. Por esta razón se ha encontrado que la disolución de las rocas fosfóricas es mayor en suelos con alta capacidad de adsorción de fósforo y bajos niveles de calcio (Mackay *et al.*, 1986).

Si bien la efectividad agronómica y económica de las rocas fosfóricas venezolanas ha sido estudiada en numerosos trabajos, son pocas las investigaciones sobre la interacción roca-suelo, un aspecto de interés que permitiría determinar en cuales suelos la aplicación de roca fosfórica sería más eficiente. El objetivo del presente trabajo fue estudiar las relaciones entre algunas características de los suelos y las rocas con la disponibilidad del fósforo en muestras incubadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Suelos*

Se seleccionaron cinco suelos de importancia agrícola situados en diferentes regiones del país, en los cuales, por sus características, ubicación geográfica y cultivo predominante, se hubieran desarrollado ensayos de campo e invernadero con rocas fosfóricas como fertilizante. De estos suelos, tres son Ultisoles (Danta, Maturín y Upata), uno Alfisol (Barinas) y el otro Vertisol (Iguana). Muestras de suelo correspondientes a una profundidad de 0 - 20 cm. fueron trituradas y tamizadas, se usó la fracción con diámetro menor de 2 mm.

El análisis mineralógico fue realizado utilizando la técnica de difracción de Rayos X en láminas preparadas con la fracción arcilla de cada suelo utilizando un equipo Phillips con generador modelo PW-17-20. Para todos los suelos se obtuvieron también difractogramas de muestras calcinadas en horno a 500 °C.

La capacidad de adsorción de P de los suelos fue caracterizada mediante los Índices de Bache y Williams (1971) que son una relación entre la cantidad de fósforo adsorbida por una muestra de suelo en suspensión con la restante en solución.

### *Rocas fosfóricas*

Se trabajó con cinco rocas fosfóricas provenientes de diferentes yacimientos del país: Lizardo Calcítica y Lizardo Aluminica, (Edo. Falcón), yacimientos que no están actualmente en explotación; Monte Fresco y Navay (Edo. Táchira), en explotación para la aplicación directa, y Riecito que se usa principalmente como materia prima para la elaboración de fertilizantes industriales en el Complejo Petroquímico de Morón y comercializada también para la aplicación directa. Las muestras de las rocas Lizardo Calcítica y Aluminica fueron obtenidas como material grueso que fue triturado hasta obtener una fracción que pasase por un tamiz de 2 mm con el fin de disponer de un material con un tamaño de partícula similar al fertilizante comercial. La muestra de Riecito se obtuvo en el yacimiento a partir del material que es enviado a la planta Petroquímica. Las muestras de Monte Fresco y Navay fueron suministradas por PEQUIVEN del material que habitualmente se usa en ensayos de invernadero y campo.

El análisis mineralógico de las rocas se hizo mediante difracción de Rayos X en muestras finamente trituradas. El equipo de difracción fue el mismo usado en el análisis mineralógico de los suelos. Se realizó la extracción total de algunos elementos presentes en la roca: P, Ca, Mg, K, Na, Fe, Si, Cu, Zn, Mn y F, según los procedimientos descritos en el Manual de Métodos de Laboratorio de Tennessee Valley Authority (T.V.A.), 1979.

Con el fin de disponer de índices comparativos de la reactividad de las rocas se usaron tres diferentes extractantes: citrato de amonio 1N, pH 7,0; ácido cítrico al 2% (Chien y Hammond, 1978) y ácido fórmico al 2% (A.F.N.O.R., 1982).

#### Incubaciones

Se establecieron incubaciones de los cinco suelos con cada una de las rocas, para ello se mezclaron suelo y roca en una proporción tal que la dosis de P proveniente de la roca correspondiese a 500 mg P.Kg<sup>-1</sup> de suelo. Porciones de 50 gramos de suelo fertilizado fueron colocadas en vasos plásticos, mantenidas a una humedad correspondiente a 75% de la capacidad de campo del suelo y a una temperatura de 25 °C, aproximadamente. Durante la realización del ensayo, en períodos de tiempo previamente establecidos, se retiraron tres vasos, y de cada uno de ellos se tomaron tres submuestras, la primera se usó para determinar el P lábil (Chang y Jackson, 1957), la segunda para la determinación de fósforo “disponible” con la solución extractora Bray I (Hesse, 1972) y la tercera se usó para determinar el contenido de humedad en el suelo incubado, a fin de expresar posteriormente el contenido de P extraído en relación al peso de muestra seca. De esta manera cada valor obtenido para un tiempo determinado, corresponde al promedio de tres repeticiones. Las incubaciones se prolongaron por un período de tiempo de por lo menos 100 días, durante el cual se hicieron por lo menos cinco determinaciones por combinación de suelo y roca.

Se construyeron gráficas de P lábil y P Bray extraídos en función del tiempo de incubación y posteriormente se esta-

blecieron correlaciones entre los valores promedio de fósforo extraído durante el lapso de la incubación con algunas características de los suelos y las rocas. El procesamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa de computación Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los suelos

Algunas características de los suelos se presentan en el cuadro 1. Información adicional sobre estos suelos puede verse en trabajos previos (Casanova *et al.*, 1993; López y Nieves, 1994; Matheus, 1987; Vera, 1988; Pérez y Díaz, 1994). La fertilidad química de los suelos fue caracterizada mediante tres soluciones extractoras usadas comúnmente para evaluar la fertilidad de los suelos: Mehlich I, Olsen y Bray I (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Características generales de los suelos.

Suelo	pH	a	L	A	C. T. <sup>1</sup>	M.O. <sup>2</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	Ca <sub>INT</sub> <sup>3</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> )	Índice B-W <sup>4</sup>
		(% )						
Barinas	5,0	70	10	20	Fa	20,0	1,04	5,1
Danta	4,0	25	50	25	Fl	17,0	0,34	12,9
Iguana	5,2	22	18	60	A	28,0	0,64	27,4
Maturín	4,0	74	12	14	aF	10,0	0,40	5,9
Upata	6,2	88	4	8	a	11,0	1,98	0,0

a: Arena; A: Arcilla; L: Limo; <sup>1</sup>Clasificación textural; <sup>2</sup>Materia orgánica; <sup>3</sup>Calcio intercambiable; <sup>4</sup>Índice de Bache-Williams: x.(log Ce)<sup>-1</sup>, (x: mgP.g<sup>-1</sup>; Ce: μmol.L<sup>-1</sup>).

**Cuadro 2.** Cantidades de nutrimentos obtenidos de los suelos mediante tres soluciones extractoras.

Suelo	Ca <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Na <sup>1</sup>	P <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>
	(mg.kg <sup>-1</sup> )					
Barinas	90	111	4,0	16 (B)	0,0 (MB)	8,1 (B)
Danta	8	66	4,5	5 (B)	13,7 (M)	27,1(M)
Iguana	25	18	19	21 (M)	0,0 (MB)	11,5 (B)
Maturín	24	7	4,5	16 (B)	3,4 (MB)	14,0 (B)
Upata	226	52	16	23 (M)	3,4 (MB)	6,7 (B)

<sup>1</sup> Mehlich I; <sup>2</sup> Olsen; <sup>3</sup> Bray; M B.: Muy bajo; B: Bajo; M: Medio

Como se observa en los cuadros 1 y 2, los cinco suelos utilizados son ácidos y tienen una fertilidad baja con contenidos de fósforo extraíble que van de muy bajos a medios. Los valores de calcio extraído mantienen correspondencia con el pH del suelo excepto en el caso de Upata que presenta un valor elevado no acorde con la clasificación taxonómica ni su granulometría, esto se debe a que el suelo fue encalado antes de la toma de muestras. La composición mineralógica de los suelos, que se muestra en el cuadro 3, evidencia la presencia predominante de caolinita como principal filosilicato en todas las muestras.

En general, es posible caracterizar a los suelos utilizados como ácidos, de baja fertilidad y aunque con diferencias en el grado de meteorización, hay en todos ellos, predominio de filosilicatos 1:1 como ocurre en la mayoría de los suelos

tropicales.

**Cuadro 3.** Composición mineralógica de la fracción arcilla de los suelos

Suelo	Composición mineralógica
Barinas	Caolinita (A) - Mica (B)
Danta	Caolinita (A) - Cuarzo (B) - Mica (P) - Vermiculita (P)
Iguana	Caolinita (M A.) - Cuarzo (B) - Mica (P) - Esmeclita (P)
Maturín	Caolinita (A) - Cuarzo (B) - Mica (P)
Upata	Cuarzo (M A.) - Caolinita (A) - Mica (P) - Clorita (P)

P: Presencia; B: Baja; A: Abundante; M A.: Muy Abundante.

#### Capacidad de Adsorción de Fósforo

La capacidad de adsorción de fósforo de estos suelos es baja y los valores de los Índices de Adsorción de Bache-Williams (Cuadro 1) están dentro de lo esperado según las características químicas generales, mineralogía y clasificación taxonómica de cada suelo. De acuerdo a la convención establecida por López-Hernández y Burnham (1974) sus niveles serían los siguientes:

Muy Bajo: Upata, Barinas, Maturín  
 Bajo: Danta  
 Medio Bajo: Iguana

El bajo contenido de arcilla en el suelo Upata (Ultisol) y el predominio de cuarzo en su mineralogía explica su bajo índice de adsorción. El valor del índice para Iguana (Vertisol), aunque ubicado en el nivel medio bajo, de acuerdo a la clasificación de López-Hernández y Burnham, es el más alto de los suelos estudiados y se corresponde con su textura (60 % de arcilla).

Al relacionar los valores de los índices de adsorción con algunas características de los suelos (Cuadro 4), el mayor coeficiente de correlación resultó ser el correspondiente al contenido de arcilla ( $r = 0,98^{**}$ ) lo cual indicaría que para este grupo de suelos, en el proceso de adsorción, las diferencias en mineralogía y composición química tienen importancia secundaria en comparación con la cantidad de arcilla, probablemente debido a que la mineralogía de los cinco suelos es muy similar, con caolinita como el filosilicato predominante. En correspondencia con la alta correlación que se presenta con la fracción

de arcilla, para el contenido de arena se obtiene una correlación negativa de menor grado de significación ( $r = -0,89^{*}$ ). La correlación significativa obtenida entre el Índice de Bache-Williams y el contenido de materia orgánica ( $r=0,85^{*}$ ) refleja una correlación existente en estos suelos entre su contenido de materia orgánica y el porcentaje de arcilla ( $r = 0,92^{**}$ ).

**Cuadro 4.** Coeficientes de correlación entre el Índice de Bache-Williams y algunas características de los suelos

a	L	A	% M.O.	Ca int.	pH	[H <sup>+</sup> ]
-0,89*	0,38	0,98**	0,85*	-0,54	-0,20	-0,06

a: Arena; L: Limo; A: Arcilla; \*\*significativo al 1%; \*significativo al 5%.

#### Caracterización de las rocas fosfóricas

En el cuadro 5 se presentan las características químicas generales de las cinco rocas fosfóricas que fueron utilizadas en la investigación. Los resultados obtenidos en los análisis químicos tienen algunas diferencias con los presentados por Casanova (1993), principalmente en el caso de las rocas Lizardo, lo que puede ser consecuencia del muestreo de diferentes estratos y de una posible segregación de minerales ocurrida en el proceso de trituración de las muestras.

Existe una clara relación entre los resultados del análisis mineralógico (Cuadro 6) y los del análisis químico para la mayoría de las rocas, con la excepción de la roca Riecito que aunque aparece en el análisis mineralógico con un contenido abundante de apatito presenta un valor medio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. En esta roca se determinó en el análisis químico un alto contenido de calcio pero no se detectó la presencia de calcita en el análisis mineralógico, lo cual indicaría la existencia de fuentes de calcio diferentes a la calcita. Estos resultados coinciden con los presentados por Casanova y Elizalde (1988) quienes interpretaron esta discrepancia como debida a la presencia de dahlita, un carbonato fosfato de calcio.

En el cuadro 7 se presentan los resultados del análisis granulométrico de las muestras de roca fosfórica con que se trabajó. La roca Monte Fresco tiene un claro predominio del material mas fino. Las rocas Lizardo Aluminica y Navay tienen una granulometría similar con aproximadamente 2/3 partes de la muestra con un tamaño intermedio de 0,25 a 0,50 mm (35 - 60 mallas).

**Cuadro 5.** Características generales de las rocas fosfóricas.

Roca	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	SiO <sub>2</sub>	Zn	Mn	Cu
	(%)								(mg.kg <sup>-1</sup> )		
Lizardo Aluminica	10,5	11,9	0,22	0,33	0,07	5,90	0,73	43,6	500	200	33
Lizardo Calcítica	29,7	40,0	0,10	0,05	0,10	2,39	1,2	11,6	1160	420	40
Monte Fresco	17,7	36,0	0,27	0,27	0,03	0,99	2,3	8,7	207	30	26
Navay	19,1	21,7	0,18	0,17	0,09	0,40	1,8	66,0	92	29	34
Riecito	20,1	31,6	0,05	0,07	0,08	1,14	1,8	41,4	272	32	18

**Cuadro 6.** Composición mineralógica de las rocas fosfóricas

Roca	Composición mineralógica
Lizardo Calcítica	Apatito (M.A.) - Calcita (M) - Mica (B) - Minerales con estructura 2:1 (B)
Lizardo Alumínica	Cuarzo (M.A.) - Apatito (M) - Caolinita (B) - Montmorilonita (B) - Mica (B)
Monte Fresco	Apatito (A) - Calcita (A) - Cuarzo (M) - Yeso (B)
Navay	Apatito (A) - Cuarzo (A) - Calcita (B)
Riecito	Apatito (M.A.) - Cuarzo (A) - Filossilicatos 2:1 (B) - Mica (B)

B: Bajo; M: Medio; A: Abundante; M A: Muy abundante.

La distribución de tamaños en las rocas Lizardo Calcítica y Riecito presenta cierta similitud, con una distribución más uniforme dentro de las fracciones consideradas, aunque Riecito tiene un mayor contenido de material con diámetro mayor de 1 mm (18 mallas) y menor proporción de la fracción más fina.

**Cuadro 7.** Granulometría de las rocas fosfóricas.

Roca	Diámetro (mallas)				
	>18	18-35	35-60	60-140	<140
	Diámetro (mm)				
	>1	1,00-0,50	0,5-0,25	0,25-0,11	<0,1
Lizardo-Al	0	0	73,2	18,9	7,9
Lizardo-Ca	4,3	22,1	31,0	21,7	20,9
M. Fresco	4,0	4,7	9,3	26,7	55,3
Navay	0,0	11,6	66,7	19,4	2,3
Riecito	24,9	22,3	24,6	20,4	7,8

#### Fracciones de fósforo extraídas

En el cuadro 8 se presentan los resultados de las determinaciones de fósforo total en cada una de las rocas y las fracciones de esa cantidad extraídas con citrato, ácido cítrico y ácido fórmico. La extracción con ácido fórmico parece discriminar mejor entre rocas que las de citrato y ácido cítrico, esta observación ya había sido hecha por Casanova (1993), en relación a las rocas Monte Fresco, Navay y Riecito. La razón de ello puede presumirse que reside en la presencia de carbonatos libres los cuales disminuyen la solubilidad del apatito en las soluciones de citrato de amonio y ácido cítrico (Chien y Hammond, 1978; Hammond *et al.*, 1986).

#### Efecto de las características de los suelos sobre el fósforo lábil y el fósforo extraído con solución Bray de las muestras incubadas.

Con el fin de determinar cuales características de los suelos tendrían mayor efecto sobre las cantidades de fósforo lábil y fósforo extraído con solución Bray de las muestras incubadas, se calcularon los valores promedio de estas extracciones, excluyendo las cantidades iniciales cuando éstas no se correspondiesen con la tendencia predominante durante el lapso

de la incubación. Se determinaron los coeficientes de correlación entre los valores promedio así calculados y las características de los suelos

**Cuadro 8.** Cantidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total y fracciones extraídas de las rocas fosfóricas

Rocas	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	Citrato		Ac. cítrico		Ac. fórmico	
		(% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )					
Lizardo-Al	10,5	12,4	(1,30)	21,0	(2,21)	40,6	(4,26)
Lizardo-Ca	29,7	3,6	(1,07)	16,0	(4,75)	31,0	(9,21)
M. Fresco	17,7	10,1	(1,79)	19,7	(3,49)	13,6	(2,41)
Navay	19,1	2,0	(0,38)	20,0	(3,82)	43,0	(8,2)
Riecito	20,1	10,1	(2,04)	16,2	(4,71)	34,3	(10,0)

( ) : con relación al peso de roca.

En el caso del fósforo lábil no se obtuvo coeficientes de correlación significativos entre el promedio extraído de las incubaciones y las características de los suelos, los mayores valores se presentaron con los Índices de Bache-Williams o características relacionadas, como el contenido de arcilla.

Las cantidades promedio de fósforo extraídas por el método de Bray mostraron estar correlacionadas con la capacidad de adsorción de fósforo de los suelos en cuatro de las cinco rocas usadas (Cuadro 9). A diferencia de lo que ocurre con el P lábil, estas correlaciones fueron positivas.

**Cuadro 9.** Coeficientes de correlación entre los valores promedio de fósforo Bray extraído de las muestras incubadas y algunas características de los suelos.

Roca	pH	H <sup>+</sup>	% A	% MO	Ca <sub>INT</sub>	IBW	X <sub>max.</sub> Langmuir
Lizardo-Al	0,06	-0,27	0,86*	0,68	-0,30	0,82*	0,85*
Lizardo-Ca	-0,04	-0,16	0,94**	0,75	-0,42	0,94**	0,94**
Monte Fresco	-0,57	0,46	0,03	-0,16	-0,56	0,08	0,28
Navay	-0,17	-0,03	0,92*	0,83*	-0,50	0,96**	0,90*
Riecito	0,03	-0,18	0,84*	0,61	-0,32	0,83*	0,85*

\*\*significativo al 1%; \*significativo al 5%; IBW.: Índice de Bache-Williams.

#### Efecto de las características de las rocas sobre el fósforo lábil y el fósforo extraído con solución Bray de las muestras incubadas.

Al correlacionar las cantidades de P lábil extraído de las incubaciones con las características de las rocas se obtuvieron en general, coeficientes de correlación bajos, no significativos.

No fue posible detectar una característica única de las rocas que explique las diferencias entre las cantidades de fósforo extraídas con la solución Bray de las incubaciones de los cinco suelos. (Cuadro 10). En las incubaciones del suelo Danta, de bajo pH y una capacidad de adsorción media entre los suelos usados, se obtuvo correlaciones significativas entre la cantidad de fósforo extraído con solución Bray y el contenido total de fósforo de las rocas. En el suelo Upata con pH leve-

mente ácido y muy baja capacidad de adsorción, las correlaciones significativas se obtuvieron con el contenido de hierro de las rocas, un índice probable del grado de meteorización de éstas.

**Cuadro 10.** Coeficientes de correlación entre los valores promedio de fósforo Bray extraído de las muestras incubadas y algunas características de las rocas fosfóricas.

Suelo	Correlación
Barinas	P citrato ( $r=0,94$ **)
Danta	P total ( $r=0,97$ **)
Iguana	F/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ( $r=-0,93$ **)
Maturín	P citrato ( $r=0,81$ *)
Upata	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( $r=0,93$ **)

\*\*significativo al 1 %; \*significativo al 5 %.

En las incubaciones del suelo Iguana, con la mayor capacidad de adsorción entre los suelos usados, se encontraron correlaciones negativas con la relación F:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Esta fracción ha sido propuesta como representativa de la sustitución de carbonato en la estructura de apatitos de la serie del carbonato apatito y de OH<sup>-</sup> en la serie del hidróxi-carbonato apatito. (Chien y McClellan, 1977). En las incubaciones de los suelos Barinas y Maturín se presentan correlaciones significativas del fósforo Bray con la cantidad extraída de las rocas mediante la solución de citrato, un extractante suave.

## CONCLUSIONES

Aunque se requeriría de la realización de ensayos con mayor número de muestras, los resultados obtenidos indican que en suelos cuya capacidad de adsorción esté dentro del rango de los usados en la investigación, muy probablemente aquellos con mayor capacidad de adsorción de fósforo producirían una mayor disolución de la roca y mayores niveles disponibles del nutrimento para la planta, aún cuando el fósforo más fácilmente disponible (fósforo lábil) presenta tendencia a disminuir a medida que la capacidad de adsorción de fósforo de los suelos es mayor.

Cada suelo constituye un medio diferente en el cual la disolución de las rocas depende de características de éstas que no son siempre las mismas, pero que están relacionadas con el incremento del P disponible mediante la reacción de roca y suelo, o con la adsorción de los productos de esa reacción. Esto se refleja en las correlaciones obtenidas entre las cantidades de fósforo Bray extraídas con las características de las rocas. La característica de la roca determinante de la cantidad de fósforo extraíble con la solución Bray de las incubaciones parece depender de las condiciones del suelo.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela,

por el financiamiento brindado para la realización de esta investigación (Proyecto 01.33.2970.94).

## LITERATURA CITADA

- Association Francaise de Normalisation (AFNOR)** . 1982. Recueil de normes francaises des matiers fertilisantes et rapports de culture. Paris. AFNOR. 409 p.
- Bache, B. y E. Williams.** 1971. A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.* 22(3): 289-301.
- Casanova, E. y G. Elizalde.** 1988. Características mineralógicas de algunas rocas fosfóricas venezolanas. *Agronomía Tropical* 38: 97-107.
- Casanova, E.** 1993. Las rocas fosfóricas y su uso agroindustrial en Venezuela. Apuntes Técnicos PALMAVEN. Caracas. 126 p.
- Casanova, E., M. Pérez y M. Flores.** 1993. Agronomic evaluation of phosphate rock and slag on an Upata acid soil in Bolivar State, Venezuela. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:573-587.
- Chang, S. y M. Jackson.** 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84:133-144.
- Chien, S. y L. Hammond.** 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 935-939.
- Chien, S. y G. McClellan.** 1977. Variation of the apatite composition in phosphate rock and its relationship to rock chemical reactivity and agronomic effectiveness. *Conference of Classification and Management of Tropical Soils.* Kuala Lumpur, Malaysia.
- Hammond, L., S. Chien y A. Mokwunye.** 1986. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the Tropics. *Advances in Agronomy.* 40: 89-139.
- Hesse, P.** 1972. A textbook of soil chemical analysis. New York, Chemical Publishing. 519 p.
- International Fertilizer Development Center.** 1967. Fertilizer Manual. 149-155. Muscle Shoals. Alabama
- López, I. y L. Nieves.** 1994. Reactividad de la roca fosfórica en suelos con contenidos de calcio, grado de acidez y capacidad de adsorción de fósforo variables, y su efecto sobre la respuesta del pasto. *Terra*, México. 12: 66-73.
- López-Hernández, D. y C. Burnham.** 1974. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and Tropical Soils. *J. Soil Sci.* 25: 196-205.

- Mackay, A., J. Syers, R. Tillman y P. Gregg.** 1986. A simple model to describe the dissolution of phosphate rock in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 291-296.
- Matheus, R.** 1987. Los suelos de la Estación Experimental La Iguana, sureste del Estado Guárico. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 235 p.
- Pérez, M. y A. Díaz.** 1994. Efecto de la aplicación de la roca fosfórica Monte Fresco natural y modificada sobre algunas características químicas el suelo y desarrollo de los cultivos. *Terra, México.* 12(1): 30-36.
- Tennessee Valley Authority.** 1979. Laboratory Manual. General Analytical Laboratory. T.V.A. Muscle Shoals. Alabama.
- Vera, J.** 1988. Evaluación de la efectividad agronómica de rocas fosfóricas modificadas (Lobatera y Riecito). Tesis. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 130 p.
-