

USO DE ROCAS FOSFORICAS COMO FUENTE DE FOSFORO EN ALGUNOS SUELOS ACIDOS DE COSTA RICA¹

Gerardo Ramírez*

ABSTRACT

Use of phosphate rock as a source of phosphorus in some acid soils of Costa Rica. Three phosphate rocks from North Carolina, Northern Florida and Morocco were evaluated against triple superphosphate, under greenhouse conditions. Sorghum (*Sorghum bicolor*) was used as test plant. Phosphate rock from North Carolina proved to be as effective as triple superphosphate in Arenón Poasito and Paraíso soils.

Phosphate rocks from Northern Florida and Morocco did not perform quite as well. The solubility of phosphate rock in formic and citric acids was a good indicator, especially in the former acid, of the efficiency of these materials as a source of phosphorus to the plants.

The lack of response to the phosphate rock amendments in the soils from Birrisito and Pital may be due to the high phosphorus fixation caused by soluble compounds of iron and aluminum. Further studies are recommended to ascertain the usefulness of phosphate rock as fertilizer.

INTRODUCCION

La aplicación de rocas fosfóricas solas o en combinación con fosfatos solubles, representa una posibilidad de abaratar y hacer más eficaz la fertilización fosfórica.

Es conveniente estudiar métodos que involucran rocas fosfóricas y fosfatos solubles con el fin de abaratar y hacer más eficaz la fertilización fosfórica.

La mayor parte de los yacimientos actuales de roca fosfórica tienen origen sedimentario. La

apatita de esos sedimentos tienen una estructura cristalina fina (criptocristalina) y los cristales tienen un diámetro de 10^5 a 10^6 cm. Este tipo de apatita difiere en su composición química de la fluorapatita y de la hidroxiapatita por la sustitución isomórfica del fosfato por carbonato y del calcio por sodio y magnesio. La solubilidad en ácidos orgánicos diluidos y la reactividad de la apatita aumentan con un incremento en la sustitución isomórfica citada. La solubilidad y liberación de fósforo de apatitas similares a la fluorapatita (rocas fosfóricas duras) son muy exiguas, y en contraposición a las apatitas carbonatada e hidroxiapatita (rocas fosfóricas suaves) no son indicadas por la aplicación directa como abonos fosfatados (19). Aunque en general la eficacia de las rocas fosfóricas por unidad de fósforo aplicado se ha mostrado inferior a la del superfosfato, existen numerosos ejemplos en la literatura de una similar eficacia entre unos y otros

¹ Recibido para su publicación el 17 de setiembre de 1979.

* Unidad de Suelos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.

materiales (1, 2, 3, 4, 5, 7, 12).

En el presente trabajo se probó bajo condiciones de invernadero la eficacia de diversas rocas fosfóricas como fuente directa de fósforo, en cuatro suelos ácidos de Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

Se probaron las rocas fosfóricas de Carolina del Norte, de Marruecos, del Norte de Florida, un producto granulado hecho con urea, roca fosfórica de Carolina del Norte y fosfato de amonio, y un tratamiento con triple superfosfato granulado para fines comparativos. Se adiciono una única dosis de 250 ppm P. Se utilizaron recipientes metálicos de 4 kg de capacidad y la planta experimental fue sorgo (*Sorghum bicolor*), aplicando los tratamientos cuatro semanas antes de la siembra.

Se aplicó una fertilización básica y se hicieron tres siembras. Las plantas fueron cosechadas cada vez a los 35 días para determinar el peso seco y el contenido de fósforo. El análisis del suelo y las plantas se hizo por los métodos propuestos por Waugh y Fitts (22). El contenido total de fósforo en el suelo se determinó de acuerdo con Kurnies (17), el fósforo total en los materiales fosfatados por el método de Munk y Lösing (21) y la solubilidad en ácido fórmico según Hofmann y Mager (14, 15).

En los Cuadros 1 y 2 se muestran las principales características de los materiales estudiados. De acuerdo con Müller (20), las rocas fosfóricas de Carolina del Norte, Marruecos y del Norte de Florida, se pueden clasificar como suave, dura y semidura y dura respectivamente. En el Cuadro 3 se presentan las principales características de los suelos experimentales, todos con un bajo contenido de fósforo disponible (Olsen modificado). Los suelos Arenón Poasito y Birrisito son suelos volcánicos de origen reciente, de mediana a buena fertilidad aunque deficientes en fósforo, mientras que los de Paraíso y Pital corresponden a suelos altamente meteorizados de baja fertilidad general, que se clasifican dentro del orden Ultisoles. Las variables estudiadas fueron sometidas a análisis de variancia y de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se encontró respuesta a todas las rocas fosfóricas (Cuadros 4, 5, 6). Las mayores producciones de materia seca, contenido y extracción de fósforo ocurrieron en la primera cosecha. En el período posterior (segunda y tercera cosechas) el efecto residual del fósforo experimentó una acentuada declinación en todos los tratamientos.

El mejor efecto residual de fósforo se presentó en el suelo Paraíso y el peor en el suelo Arenón Poasito.

Cuadro 1. Características químicas de los fertilizantes fosfatados.

Fertilizante fosfatado ¹	P ₂ O ₅ total %	CaO %	Solubilidad en ácido cítrico % P ₂ O ₅	Solubilidad en ácido fórmico % P ₂ O ₅	Solubilidad en agua % P ₂ O ₅	N total
R F Carolina del Norte	29,9	48,6	13,17	21,53	—	—
R F Norte de Florida	32,4	48,3	8,13	7,28	—	—
R F Marruecos	33,3	51,0	9,91	14,21	—	—
R F Urea granulada	24,0	—	16,38	16,68	7,61	17,9
Superfosfato triple granulado	45,4	17,2	—	—	41,22	—

R F = Roca fosfórica.

Cuadro 2. Grado de fineza de los fertilizantes fosfatados.

Malla N°	Diámetro agujero mm.	Roca fosfórica			C.N.* - urea
		C.N.*	N.F.*	Marruecos	
+4	+4,699	—	—	—	0,0
4-6	4,699-3,327	—	—	—	6,1
6-8	3,327-2,362	—	—	—	47,6
8-10	2,362-1,981	—	—	—	35,8
10-12	1,981-1,651	—	—	—	8,7
-12	-1,651	—	—	—	1,8
+65	+0,208	0,0	15,8	19,5	—
65-100	0,208-0,147	2,0	8,7	28,5	—
100-150	0,147-0,104	3,2	6,8	19,7	—
150-200	0,104-0,074	6,0	9,5	7,1	—
200-325	0,074-0,043	9,8	10,5	5,7	—
-325	-0,043	79,0	48,7	19,5	—

* C.N. = Carolina del Norte; N.F. = Norte de Florida.

Cuadro 3. Características de los suelos experimentales.

Suelo	Clasificación (suborden)	P total ppm	P Olsen ppm	Ca	Mg	K	Al	Fe	Mn	Materia Orgánica %
Arenón Poasito	Andept	990	4	4,00	1,10	0,64	0,20	64	14	8,3
Birrisito	Andept	932	3	7,00	1,10	0,66	0,15	78	24	9,4
Paraíso	Humult	368	2	3,50	1,00	0,38	0,80	70	51	5,4
Pital	Humult	518	4	2,00	0,70	0,12	0,75	138	71	5,4

La roca fosfórica de Carolina del Norte mostró la mayor eficacia; en los suelos Arenón Poasito, Paraíso y Pital su eficacia como fuente de fósforo fue ligeramente menor que la del triple superfosfato y la más baja se encontró en el suelo Birrisito. Fassbender (12), también obtuvo una baja respuesta a la roca fosfórica Sechura de Perú, una hidroxiapatita (tipo "suave"), aplicada a un suelo de la misma serie Birrisito. En contraposición a la roca fosfórica de Carolina del Norte, las provenientes del Norte de Florida y Marruecos exhibieron en general baja eficacia.

En el Cuadro 7 se presentan las correlaciones positivas y significativas, entre las solubilidades de fósforo de los fertilizantes fosfatados en los ácidos fórmico y cítrico, y la producción de materia seca, contenido y extracción de fósforo. La solubilidad de fósforo en ácido fórmico mostró más altas correlaciones con la producción de materia seca que la encontrada entre ésta y la solubilidad de fósforo en ácido cítrico. En especial, las altas correlaciones se obtuvieron en los suelos Arenón Poasito y Paraíso.

Cuadro 4. Producción de tres cosechas de sorgo en respuesta a diferentes fuentes de fósforo (g mat. seca / maceta).

Tratamientos	Suelos			
	Arenón Poasito	Birrisito	Paraíso	Pital
Sin fósforo	7,78 (49) ¹	4,80 (32)	5,87 (33)	5,64 (44)
Superfosfato triple	16,00 (100)	14,82 (100)	17,97 (100)	12,88 (100)
Roca fosfórica Carolina del Norte	15,28 (96)	10,65 (72)	16,66 (93)	10,42 (81)
Roca fosfórica del Norte de Florida	9,24 (58)	6,63 (45)	13,00 (72)	8,08 (63)
Roca fosfórica de Marruecos	10,78 (67)	7,43 (50)	10,96 (61)	8,85 (69)
Roca fosfórica-urea	12,19 (76)	6,72 (45)	11,88 (66)	8,96 (70)
DMS 5%	4,58	2,16	1,91	1,70
DMS 1%	n s	3,02	2,68	2,38

¹ Los valores en paréntesis indican cifras relativas al Triple Superfosfato.

En el presente trabajo la roca fosfórica "suave" de Carolina del Norte se mostró como un prometedor fertilizante fosfatado para una aplicación directa a los suelos. Estos resultados confirman lo encontrado por Barnes y Kamprath (3) en suelos de Carolina del Norte, Estados Unidos de América. La eficacia de las otras rocas fosfóricas de naturaleza "dura" o poco solubles, fue por el contrario exigua, de manera que la aplicación directa de estos materiales no parece ser recomendable. Se encontró una reacción diferencial de los suelos a la aplicación de las rocas fosfóricas. Aunque la diferencia de pH entre los suelos Paraíso y Pital es de poca monta, en el suelo Paraíso hubo buena respuesta mientras que lo contrario ocurrió con el de Pital. El último caso se explica por la fuerte fijación de fósforo en forma de compuestos insolubles de hierro (10), debido al relativo alto contenido de este elemento en el suelo (Cuadro 3). Además, se conoce que otros factores como la actividad microbiana y el contenido de materia orgánica, afectan la disponibilidad del fósforo provenientes de rocas fosfóricas (19).

La baja respuesta obtenida al aplicar roca fosfórica-urea granulada, se explica en función del diámetro de los gránulos aplicados. Al respecto, se conoce que un alto grado de fineza aumenta la superficie de exposición con los agentes solubilizadores. Por el contrario, los fertilizantes que contienen fósforo soluble deben aplicarse en forma granulada y en banda para disminuir la superficie de contacto con el suelo, y así disminuir la fijación o conversión del fósforo soluble a formas no asimilables por las plantas.

El grado de fineza de los fertilizantes estudiados fue muy variable (Cuadro 2). La mayor fineza de la roca fosfórica del Norte de Florida, en comparación con la de la de Marruecos, explica en parte la relativa baja eficacia mostrada por este último material, a pesar de tener una solubilidad de fósforo en ácido fórmico mayor que la de la roca fosfórica del Norte de Florida.

Las solubilidades de fósforo de las rocas fosfóricas en los ácidos fórmico (9, 13, 16, 18, 20) cítrico (6, 11, 13) se han mostrado como buenos

Cuadro 5. Contenido de fósforo en la parte aérea como respuesta a diferentes fuentes de fósforo, % de P de la materia seca (\bar{x} de tres cosechas).

Tratamientos	Arenón Poasito	Birrisito	Paraíso	Pital
Sin fósforo	0,11 (100)*	0,12 (100)	0,10 (100)	0,12 (100)
Superfosfato Triple	0,30 (273)	0,28 (233)	0,28 (280)	0,29 (242)
Roca fosfórica Carolina del Norte	0,20 (181)	0,16 (133)	0,21 (210)	0,17 (142)
Roca fosfórica del Norte de Florida	0,14 (127)	0,12 (100)	0,15 (150)	0,15 (125)
Roca fosfórica de Marruecos	0,13 (118)	0,13 (108)	0,14 (140)	0,14 (117)
Roca fosfórica-urea	0,19 (173)	0,14 (117)	0,21 (210)	0,16 (133)
DMS 5%	0,04	0,03	0,02	0,03
DMS 1%	0,06	0,04	0,03	0,04

* Los valores en paréntesis indican cifras relativas al Triple Superfosfato.

Cuadro 6. Extracción de fósforo de tres cosechas de sorgo en respuesta a diferentes fuentes de este elemento (mg P/maceta).

Tratamientos	Suelos			
	Arenón Poasito	Birrisito	Paraíso	Pital
Sin fósforo	8,11 (17)*	5,31 (13)	5,97 (12)	6,70 (18)
Superfosfato triple	47,64 (100)	39,99 (100)	48,02 (100)	37,00 (100)
Roca fosfórica Carolina del Norte	29,02 (61)	15,52 (39)	32,97 (69)	17,66 (48)
Roca fosfórica del Norte de Florida	11,72 (25)	7,49 (19)	19,58 (41)	10,50 (28)
Roca fosfórica de Marruecos	13,74 (29)	8,75 (22)	15,48 (32)	12,85 (35)
Roca fosfórica-urea	23,78 (50)*	9,89 (25)	26,28 (55)	15,24 (41)
DMS 5%	6,25	6,07	5,58	4,79
DMS 1%	8,77	8,52	7,82	6,72

* Los valores en paréntesis indican cifras relativas al Triple Superfosfato.

Cuadro 7. Correlaciones entre las solubilidades en los ácidos fórmico y cítrico de los fertilizantes fosfatados y la producción de materia seca, contenido y extracción de fósforo.

Trata- mientos	Suelos							
	Arenón Poasito		Birrisito		Paraíso		Pital	
	AF +	AC +	AF	AC	AF	AC	AF	AC
Materia Seca	0,965**	0,839*	0,884*	0,818*	0,873*	0,778n.s	0,969**	0,900*
Contenido de fósforo	0,924**	0,945**	0,791n.s	0,848*	0,955*	0,971**	0,831*	0,876*
Extracción de fósforo	0,942**	0,928**	0,815*	0,846*	0,949*	0,926**	0,889*	0,911*

+ A F = Solubilidad de fósforo en ácido fórmico; A C = Solubilidad de fósforo en ácido cítrico.

parámetros evaluativos de su efecto como fuente de fósforo para las plantas. Se ha encontrado que la distinción entre rocas fosfóricas suaves y duras se puede hacer adecuadamente mediante la solubilidad de fósforo en ácido fórmico al 2% (p/p) con una relación roca fosfórica: solución de 1:100 (14, 15). En el presente trabajo las solubilidades en ambos ácidos se mostraron también como métodos adecuados para predecir la eficacia de las rocas fosfóricas.

Por su parte, Chien y Hammond (8) encontraron que la solubilidad de fósforo en una resina hidrogenada (Dowex 50W-X8) de rocas fosfóricas suaves (Carolina del Norte y Sechura) mostró igualmente altas correlaciones con producción de materia seca.

RESUMEN

Se probaron bajo condiciones de invernadero en cuatro suelos ácidos de Costa Rica cinco materia-

les como fuente de fósforo a saber, rocas fosfóricas de Carolina del Norte, Norte de Florida y Marruecos, roca fosfórica Carolina del Norte-urea y Triple Superfosfato. La planta experimental fue sorgo (*Sorghum bicolor*). La eficacia de la roca fosfórica de Carolina del Norte en los suelos Arenón Poasito y Paraíso fue similar a la del Triple-Superfosfato.

Por el contrario, las rocas fosfóricas del Norte de Florida y Marruecos mostraron en general una baja eficacia. Buenos parámetros evaluativos de la eficacia fitofisiológica de las rocas fosfóricas lo fueron las solubilidades de fósforo en los ácidos fórmico y cítrico, especialmente la primera.

El relativo bajo efecto de las rocas fosfóricas en los suelos Birrisito y Pital se puede atribuir a la alta capacidad de fijación de fósforo de compuestos de hierro y aluminio solubles. Se recomienda efectuar pruebas de campo con el fin de estudiar los aspectos agronómicos y económicos de las rocas fosfóricas como abonos fosfatados.

LITERATURA CITADA

1. AYRES, A.S. y HAGIHARA, H. H.. Effectiveness of raw rock phosphate for sugar cane. *Soil Science* 91: 383-387. 1961.
2. ALSTON, A.M. y CHIN, K.W. Rock phosphate and superphosphate as sources of phosphorus for subterranean clover on an acid sandy soil. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 14: 358-361. 1974.
3. BARNES, J.S. y KAMPRATH, E.J. Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils. North Carolina Agricultural Experimental Station. Technical Bulletin N° 229. 1975. 23 p.
4. BAVER, L.D. A decade of research progress 1950-1959. *Hawaiian Planters' Record* 57(1): 1-118. 1963.
5. BENNETT, O.L., ENSMINGER, L.E. y PEARSON, R.S. The availability of phosphorus in various sources of rock phosphate as shown by greenhouse studies. *Soil Science Society of America Proceedings* 21(5): 521-524. 1957.
6. CARO, J.H. y HILL, W.L. Characteristics and fertilizer value of phosphate rock from different fields. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 4(8): 684-687. 1956.
7. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, CIAT. Reporte Anual 1976. Sistemas de producción de frijol. Cali, Colombia 1977. pp. A-47 - A-50.
8. CHIEN, S.H. y HAMMOND, L.L. A simple chemical method for evaluating the agronomic potential of granulated phosphate rock. *Soil Science Society of America Journal* 42(4): 615-617. 1978.
9. CHIEN, S.H. y HAMMOND, L.L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rock for direct application. *Soil Science Society of America Journal* 42(6): 935-939. 1978.
10. CHU, C.R., MOSCHLER, W.W. y THOMAS, G.W. Rock phosphate transformations in acid soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 26(5): 476-478. 1962.
11. EHRENBERG, P. y BUCHNER, A. Zur Wirkung von neun Rohphosphaten auf sauren Mineralböden zu Gras. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 52: 211-225. 1951.
12. FASSBENDER, H.W. Los fosfatos naturales de Sechura, Perú. *Turrialba* 17(2): 159-164. 1967.
13. GILLERN, C. y REICHARD, T. Erfahrungen mit Hyperphos. *Bodenkultur* 11(4): 342-354. 1960.
14. HOFMANN, E. y MAGER, D. Über Löslichkeit und Bewertung der Rohphosphate (Moordünger). *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 52: 116-120. 1951.
15. HOFMANN, E. y MAGER, D. Über die Löslichkeit der Phosphorsäure in Rohphosphaten *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 62: 262-264. 1953.
16. HOFMANN, E., AMBERGER, A. y MAGER, D. Löslichkeit und Wirkung der Phosphorsäure verschiedener Phosphate. *Landwirtschaftliche Forschung* 12(4): 270-275. 1959.
17. KURMIES, B. Zur Fraktionierung der Bodenphosphate. *Phosphorsäure* 29: 118-151. 1971-1972.
18. LASKE, P. Die Kennzeichnung der für Düngezwecke brauchbaren Rohphosphate durch ihre relative Löslichkeit in Ameisen und Weinsäure. *Landwirtschaftliche Forschung* 10: 114-117. 1957.
19. LEHR, J.R. y MCCLELLAN, G.H. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application. *Tennessee Valley Authority. Bulletin Y-43*. 1972. 1-36.
20. MÜLLER, H. Feinvermahlendes Rohphosphat. *In H. Linser. Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung*. II/2. 1968. pp. 1129-1139.
21. MUNK, H. y LÖSING, H. Die Anwendung der Vanadat-Molybdat-Methode bei der Bestimmung der Phosphorsäure in Düngemitteln. *Landwirtschaftliche Forschung* 12: 125-137. 1959.
22. WAUGH, D.L. y FITTS, J.W. Estudios de interpretación de análisis de suelo laboratorio y macetas. Estación Experimental Agrícola de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. Serie del Proyecto Internacional de Análisis de Suelo. *Boletín Técnico* N° 3. 1966.