



# TERRA

Volumen 12

Enero-Marzo de 1994

Número 1

DIVISION II

INDICE

- E**fecto inicial y residual de dos fuentes fosfatadas naturales y modificadas mediante acidulación parcial y compactación.  
**LUIS ALFREDO LEON** 3
- Efecto residual de la aplicación directa de roca fosfórica Capinota en un oxisol y roca procesada en un entisol.  
**JUAN BELLOTT MONTALVO** 11
- Comportamiento agronómico de roca fosfórica de Baja California en un Andosol y un Aridosol de México.  
**ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR y FRANCISCO GAVI REYES** 17
- Acción acondicionante de la roca fosfórica de Monte Fresco, Venezuela, y la sorción de fósforo de un suelo ácido.  
**OSMAR ISSA, ROGELIO RODRIGUEZ, SILVIA FURNARI y FERNANDO MORALES** 23
- Efecto de la aplicación de la roca fosfórica Monte Fresco Natural y modificada sobre algunas características químicas del suelo y desarrollo de cultivos.  
**MARIA JUANA PEREZ y ANTONIO DIAZ** 30
- Roca fosfórica: fuente alternativa de fósforo para la caña de azúcar.  
**RAFAEL VILLEGAS y ADRIANO CABRERA.** 37
- Evaluación agronómica de fuentes de fósforo en suelos chilenos cultivados con arroz inundado.  
**CARLOS ROJAS WALKER y RODRIGO ORTEGA BLUE** 43
- Respuesta de *Theobroma cacao* L. a la roca fosfórica en el norte de Chiapas, México.  
**CAMERINO GUZMAN ESTRADA y FIDENCIO PUENTE FLORES** 50
- Evaluación de roca fosfórica con *Brachiaria decumbens* en suelos ácidos.  
**LAUREANO PASTRANA A.** 56
- 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 *Brachiaria brizanta*.  
**ISAURA LOPEZ DE ROJAS y LUIS NIEVES** 66
- Evaluación de la roca fosfórica en Zea mays L. en la costa de Jalisco, México.  
**CAMERINO GUZMAN ESTRADA** 74

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,  
Editor en jefe  
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,  
Editor adjunto  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELESES,  
Editor técnico  
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
Editor técnico  
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,  
Editor técnico  
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,  
Editora administrativa

MESA DIRECTIVA 1990-1994

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,  
Presidente  
DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,  
Vicepresidente  
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
Secretario General  
ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,  
Tesorero  
M.C. MARIO MONTES HELU,  
Secretario Técnico  
M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,  
Secretario de Relaciones Públicas  
M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,  
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales  
DR. FERNANDO FLORES LUI,  
Vocal  
M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA,  
Vocal

"TERRA", Registro en Trámite. Organó oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Volumen 12-1, enero-marzo 1994.

ISSN 0187-5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total del contenido de esta revista, citándola como fuente de información.

Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA, al Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Oficinas: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

Editores invitados

Dr. Roberto Núñez Escobar  
M.C. Jorge Alvarado López

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

- Efecto inicial y residual de dos fuentes fosfatadas naturales y modificadas mediante acidulación parcial y compactación. LUIS ALFREDO LEON. . . . . 3
- Efecto residual de la aplicación directa de roca fosfórica Capinota en un oxisol y roca procesada en un entisol. JUAN BELLOTT MONTALVO. . . . . 11
- Comportamiento agronómico de roca fosfórica de Baja California en un Andosol y un Aridosol de México. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR y FRANCISCO GAVI REYES. . . . . 17
- Acción acondicionante de la roca fosfática de Monte Fresco, Venezuela, y la sorción de fósforo de un suelo ácido. OSMAR ISSA, ROGELIO RODRIGUEZ, SILVIA FURNARI y FERNANDO MORALES. . . . . 23
- Efecto de la aplicación de la roca fosfórica Monte Fresco Natural y modificada sobre algunas características químicas del suelo y desarrollo de cultivos. MARIA JUANA PEREZ y ANTONIO DIAZ. . . . . 30
- Roca fosfórica: fuente alternativa de fósforo para la caña de azúcar. RAFAEL VILLEGAS y ADRIANO CABRERA. . . . . 37
- Evaluación agronómica de fuentes de fósforo en suelos chilenos cultivados con arroz inundado. CARLOS ROJAS WALKER y RODRIGO ORTEGA BLUE. . . . . 43
- Respuesta de *Theobroma cacao* L. a la roca fosfórica en el norte de Chiapas, México. CAMERINO GUZMAN ESTRADA y FIDENCIO PUENTE FLORES. . . . . 50
- Evaluación de roca fosfórica con *Brachiaria decumbens* en suelos ácidos. LAUREANO PASTRANA A. . . . . 56
- 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 *Brachiaria brizanta*. ISAURA LOPEZ DE ROJAS y LUIS NIEVES. . . . . 66
- Evaluación de la roca fosfórica en Zea mays L. en la costa de Jalisco, México. CAMERINO GUZMAN ESTRADA. . . . . 74
- Investigación Australiana en campo e invernadero, con rocas fosfóricas: Historia, explicaciones y desarrollos actuales. R.J. GILKES y M.D.A. BOLLAND. . . . . 79
- Respuestas agronómicas y alternativas tecnológicas en el uso de rocas fosfóricas naturales y modificadas en cultivos y suelos de Venezuela. EDUARDO CASANOVA OLIVO. . . . . 106
- Fertilización fosfórica en sistemas con bajos insumos en los trópicos húmedos del Perú. JULIO C. ALEGRE ORIHUELA, MWENJA GICHURU y PEDRO A. SANCHEZ. . . . . 117
- Absorción del fósforo y del flúor de diferentes fosfatos en rumiantes. S. GODOY DE LEON y C.F. CHICCO. . . . . 125

## SCIENTIFIC ARTICLES

## EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,  
Editor-in-chief  
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,  
Associate editor  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,  
Technical editor  
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
Technical editor  
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,  
Technical editor  
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,  
Managing editor

## BOARD OF DIRECTORS 1990-1994

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,  
President  
DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,  
Vice-President  
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
General-Secretary  
ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,  
Treasurer  
M.C. MARIO MONTES HELU,  
Technical Secretary  
M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,  
Secretary for Public Relations  
M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,  
Secretary for National and International Events  
DR. FERNANDO FLORES LUI,  
Member  
M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA,  
Member

"TERRA", Registration pending. Official publication  
of the Soil Science Society of Mexico.

Volume 12-1, January-March 1994.

ISSN 0187-5779

The authors take full responsibility for the  
articles published. Partial or total reproduction  
of the content of this journal is authorized, as  
long as this publication is cited as the information  
source.

When submitting articles to this journal, an  
original and two copies must be sent to: Editor de  
la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia  
del Suelo, A.C., Apartado Postal 45, 56230 Chapingo,  
Edo. de México, México.

Office address: Edificio del Departamento de Suelos,  
Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado  
de México.

Telephone: 52-595-42200, ext. 5237.

## Invited editors

Dr. Roberto Núñez Escobar  
M.C. Jorge Alvarado López

## Division II: Soil-Climate-Biota Relationship

- Initial and residual effect of two phosphate  
sources, natural and modified by partial  
acidulation and compaction. LUIS ALFREDO  
LEON. . . . . 3
- Residual effect of the direct application of  
Capinota rock phosphate in oxisol and processed  
rock in entisol. JUAN BELLOTT MONTALVO. . . . . 11
- Agronomic behavior of Baja California phosphate  
rock in an Andosol, a Planosol, and an Aridisol of  
Mexico. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, and  
FRANCISCO GAVI REYES. . . . . 17
- Conditioning action of monte fresco, Venezuela  
phosphate rock and phosphorus sorption of an acid  
soil. OSMAR ISSA, ROGELIO RODRIGUEZ,  
SILVA FURNARI, and FERNANDO  
MORALES. . . . . 23
- Effect of the application of Monte Fresco  
phosphate rock, natural and modified, on some soil  
chemical characteristics and crop development.  
MARIA JUANA PEREZ, and ANTONIO  
DIAZ. . . . . 30
- Phosphate rock: Alternative phosphorus source  
for sugarcane. RAFAEL VILLEGAS, and  
ADRIANO CABRERA. . . . . 37
- Agronomic evaluation of phosphorus sources in  
Chilean soils cultivated with flooded rice. CARLOS  
ROJAS WALKER, and RODRIGO ORTEGA  
BLUE. . . . . 43
- Response of *Theobroma cacao* L. to phosphate  
rock at north of Chiapas, Mexico. CAMERINO  
GUZMAN ESTRADA, and FIDENCIO PUENTE  
FLORES. . . . . 50
- Phosphate rock evaluation with *Brachiaria  
decumbens* in acid soils. LAUREANO  
PASTRANA A. . . . . 56
- Phosphate rock reactivity in soils differing in  
calcium content, degree of acidity and phosphorus  
adsorption capacity and its effect on the response  
of *Brachiaria brizantha*. ISAURA LOPEZ DE  
ROJAS y LUIS NIEVES. . . . . 66
- Phosphate rock evaluation in *Zea mays* L. in the  
Coast of Jalisco, Mexico. CAMERINO GUZMAN  
ESTRADA. . . . . 74
- Australian field and Glasshouse research with  
rock phosphates: history, explanations and current  
developments. R.J. GILKES and M.D.A.  
BOLLAND. . . . . 79
- Agronomic responses and technological  
alternatives in the use of natural and modified  
phosphate rocks in crops and soils of Venezuela.  
EDUARDO CASANOVA OLIVO. . . . . 106
- Phosphorus fertilization in low income systems  
in the humid tropics of Peru. JULIO C. ALEGRE  
ORIHUELA, MWENJA GICHURU, and PEDRO  
A. SANCHEZ. . . . . 117
- Absorption of phosphorus and fluorine from  
different phosphates in ruminants. S. GODOY DE  
LEON, and C.F. CHICCO. . . . . 125

## PRESENTACION

La fertilización fosfatada es una práctica obligada en la mayoría de las explotaciones agrícolas de América Latina, especialmente las que se desarrollan en Andosoles, Ultisoles y Oxisoles, tan comunes en esta región. La acidez natural característica de estos órdenes de suelos hace promisoría la utilización directa de roca fosfórica como una fuente de abastecimiento de fósforo a los cultivos con un mínimo consumo de energía y a bajo costo. Por otra parte, la mayoría de los países latinoamericanos cuenta con depósitos de fosfatos naturales de diferente magnitud y calidad; sin embargo, existe una subexplotación de los mismos por falta de recursos económicos y de tecnologías apropiadas para su extracción, procesamiento y utilización.

La Red Latinoamericana de Roca Fosfórica (RELARF) se creó con el objetivo fundamental de intercambiar experiencias en la generación de tecnologías para el óptimo aprovechamiento de las rocas fosfóricas disponibles en Latinoamérica, considerando la magnitud de los depósitos y la calidad de los materiales.

La Primera Reunión Latinoamericana de Estudio de la Roca Fosfórica se llevó a cabo en Cochabamba, Bolivia, en 1983, con el patrocinio de diferentes instituciones bolivianas e internacionales, principalmente el Instituto Alemán de Cooperación Técnica (GTZ) y el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID) de Canadá. En 1987, el Proyecto Fósforo del International Fertilizer Development Center (IFDC), con sede en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y financiado por el CIID, convocó a una reunión en Cali, Colombia, para presentar y discutir los resultados de las investigaciones sobre evaluación de rocas fosfóricas y fertilizantes fosfatados, realizadas por el Proyecto Fósforo IFDC/CIAT/CIID, también para formular estrategias tendientes al establecimiento permanente de una Red Latinoamericana de Evaluación de Fertilizantes Fosfatados.

Los resultados de esta reunión motivaron mayor número de investigaciones con rocas fosfóricas, así como la realización de reuniones en las que los fosfatos naturales ocuparon el tema central;

tal fue el caso del Congreso Internacional sobre la Industria de los Fertilizantes, organizado por la Asociación para el Desarrollo de la Industria de los Fertilizantes en América Latina, A.C. (ADIFAL), en la Paz, Baja California Sur, México, en noviembre de 1988; el V Encuentro Nacional de Roca Fosfórica realizado en Sao Paulo, Brasil, en octubre de 1990 y el Primer Seminario Nacional sobre Uso de Rocas Fosfóricas en Agricultura, llevado a cabo en Temuco, Chile, en noviembre de 1992. A partir de finales de la década de 1980-1990, la aplicación directa de roca fosfórica empezó a popularizarse en varios países latinoamericanos, especialmente en Venezuela, donde un grupo de distinguidos edafólogos, con el patrocinio de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y de varias instituciones venezolanas e internacionales, celebró la Segunda Reunión de la RELARF, en la que se presentaron 35 trabajos de investigación, procedentes de once países.

Durante la Segunda Reunión de la RELARF, se aceptó la propuesta de la delegación mexicana para realizar la Tercera Reunión de esta red, en Acapulco, México, en noviembre de 1992, dentro del marco del XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). En esta reunión se presentaron 28 trabajos procedentes de diez países. Los resúmenes de los trabajos presentados en forma de cartel aparecen en la Memoria del XXV Congreso de la SMCS; los textos completos de las ponencias orales constituyen la presente publicación.

La realización de la Tercera Reunión de la RELARF no hubiera sido posible sin el decidido apoyo de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo y el patrocinio financiero de las empresas Fertilizantes Mexicanos, S.A. (FERTIMEX y Roca Fosfórica Mexicana S.A. de C.V. (ROFOMEX). También se recibió activa colaboración de la ADIFAL, del Instituto del Fosfato y la Potasa, del Instituto del Azufre y de la empresa Texasgulf Export Co. A todos ellos, el Comité Organizador expresa su más sincero reconocimiento.

*Por el Comité Organizador*

**Dr. Roberto Núñez Escobar,**  
Secretario.

**SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL  
SUELO A.C.**

**DIVISIONES Y DISCIPLINAS**

*División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación  
del Recurso Suelo*

- a) Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos.
- b) Física de Suelos.
- c) Química de Suelos.
- d) Contaminación.

*División II: Relación Suelo-Clima-Biota*

- a) Nutrición Vegetal.
- b) Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.
- c) Biología del Suelo.
- d) Tecnología y Uso de Fertilizantes.
- e) Uso y Manejo del Agua.

*División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo*

- a) Conservación del Suelo.
- b) Drenaje y Recuperación.
- c) Fertilidad.
- d) Productividad de Agrosistemas.

*División IV: Educación y Asistencia Técnica*

- a) Educación.
- b) Crédito y Asistencia Técnica.

## **EFFECTO INICIAL Y RESIDUAL DE DOS FUENTES FOSFATADAS NATURALES Y MODIFICADAS MEDIANTE ACIDULACION PARCIAL Y COMPACTACION**

Initial and Residual Effect of Two Phosphate Sources, Natural and Modified by Partial Acidulation and Compaction

Luis Alfredo León

Científico de Suelos, Coordinador Proyecto Estudios de Fertilidad de Suelos IFDC/CIAT, A.A. 6713, Cali, Colombia

*Palabras clave:* Rocas fosfóricas, Cultivos básicos, Suelos ácidos, Abastecimiento de fósforo.

*Index words:* Phosphate rocks, Basic crops, Acid soils, Phosphorus supply.

### **RESUMEN**

La acidulación parcial de muchas rocas fosfóricas (RF) de reactividad media o baja puede incrementar su efectividad agronómica, lo que no es así cuando éstas presentan altos contenidos de óxidos de Fe y Al, como es el caso de la RF de Capinota en Bolivia. Una mejor solución para este tipo de RF parece ser su compactación con un fosfato soluble. Con el fin de observar el comportamiento inicial y residual de dos RF de Colombia y Bolivia, parcialmente aciduladas (RFPA) y compactadas con superfosfato triple (RF/SFT), en cultivos como papa, frijol, maíz y una rotación arroz-soya, en diversas condiciones de clima y suelo, se llevaron a cabo cuatro experimentos en campos de agricultores en Colombia.

Los resultados obtenidos en estos ensayos indican que cuando la RF no tiene contenidos altos de óxidos de Fe y Al (RFHuila, Colombia)

es posible obtener resultados agronómicos similares si se usa una RFPA o una RF/SFT. Si la RF es alta en óxidos de Fe y Al (RF Capinota, Bolivia) es preferible compactarla con SFT que acidularla parcialmente para mejorar su efectividad agronómica. Parece que el efecto residual de las fuentes de P estudiadas depende del cultivo y de las propiedades químicas del suelo, aunque las fuentes fosfatadas solubles (SFT) y la RFHuilaPA, con alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  libre, parecen dar los mejores resultados. Los resultados obtenidos indican que económicamente es mejor hacer aplicaciones de dosis bajas de P con fosfatos solubles antes de cada siembra, que aplicar una sola dosis alta antes de la primera siembra y aprovechar su efecto residual.

### **SUMMARY**

The partial acidulation of many phosphate rocks (PR) of medium or low reactivity, may increase their agronomic effectiveness; but this does not happen when they contain high levels of Fe and Al oxides, as it is the case with Capinota PR in Bolivia. A better solution for this type of PR seems to be its compaction with a soluble phosphate. Four experiments were carried out in farmers fields in Colombia in order to observe the initial and residual behavior of two PR from Colombia and Bolivia,

Recibido 7-94.

partially acidulated (PAPR) and compacted with triple superphosphate (PR/TSP), in crops such as potatoes, common beans, corn and a rice-soybeans rotation, under several conditions of climate and soil. The results obtained in this trials show that under low contents of Fe and Al oxides in the PR (PRHuila, Colombia) the agronomical results obtained with PAPR were similar to those obtained with PR/TSP.

When PR contains high levels of Fe and Al oxides (PR Capinota, Bolivia), compaction with TSP is preferred instead of partial acidulation to improve its agronomic effectiveness. The residual effect of the P sources studied seems to depend on the crop and the chemical properties of the soil, with the best results apparently given by the soluble P sources (TSP) and by the PRHuila PA, with high free  $\text{CaCO}_3$  content. From an economical standpoint, the best results are obtained with soluble phosphates at low P rates applied just before every planting, instead of a single application of a high rate in the first planting, and using the residual effect afterwards.

### INTRODUCCION

Uno de los principales problemas que afronta la agricultura en América Latina es la marcada deficiencia de P de sus suelos (Sanchez y Salinas, 1981). Estudios realizados por científicos del IFDC y colaboradores de Institutos Nacionales de Investigación en países de América Latina como Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Perú y Venezuela, indican que el uso de RF molidas, así sean de alta reactividad, se encuentra restringido por diversas condiciones del suelo, el cultivo y el clima (León y Arregocés, 1987; León y Fenster, 1979; León *et al.*, 1986). Al acidular parcialmente las RF de mediana o baja reactividad, generalmente a 50% con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , su efectividad agronómica mejora notablemente (Hammond *et al.*, 1980; Martínez *et al.*, 1987; Mokwunye y Chien, 1980). Algunas RF tienen un alto contenido de óxidos de Fe y Al, como es el caso de la RF Capinota de Bolivia (9.3% de  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), lo cual dificulta su acidulación parcial, pues con el tiempo los fosfatos solubilizados por la adición del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se vuelven nuevamente insolubles, disminuyendo así su efectividad agronómica inicial (León y Arregocés, 1987).

Una alternativa para incrementar el P soluble en este tipo de RF sin tener que acidularlas sería la de mezclarlas y compactarlas con fosfatos solubles como el SFT, el MAP o el DAP, donde solamente opera un proceso físico en el cual aparentemente no se producen reacciones químicas ni altos incrementos de temperatura (Chien *et al.*, 1987). Con el fin de observar el comportamiento inicial y residual de la RF Capinota acidulada a 50% con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y compactada con SFT, comparada con la RFHuila acidulada y compactada, la cual presenta un bajo contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.3%), con varios cultivos y en diversas condiciones de clima y suelo, se realizaron cuatro experimentos en regiones altas, medias y bajas de Colombia. Este estudio se llevó a cabo bajo la dirección del Proyecto Estudios de Fertilidad de Suelos que el Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes (IFDC) adelanta con la cooperación del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

### MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se establecieron en tres regiones diferentes consideradas como de clima frío, medio y cálido. Las características de los sitios escogidos y los resultados de los análisis químicos se presentan en el Cuadro 1. En Las Animas se sembró papa (*Solanum tuberosum*), variedad Parda Pastusa, y se realizaron dos cosechas consecutivas. En El Porvenir se estableció un ensayo con frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad PVA 916, durante tres semestres. En el cuarto semestre se sembró maíz (*Zea mays*) variedad Swan x La Posta, debido a que se incrementaron los problemas fitosanitarios del frijol durante la última cosecha.

En La Libertad se establecieron dos ensayos, uno con una rotación de arroz secano-soya (*Oryza sativa* y *Glycine max* L.) y el otro con maíz continuo. Las variedades de arroz, soya y maíz utilizadas fueron Oryzica 6, Soyica P33 y CIAT 88SA-3TSA, respectivamente.

Se utilizaron siete fuentes de P. El P total, P soluble en agua y en citratos de dichas fuentes se presentan en el Cuadro 2. El P se aplicó en tres dosis y éstas dependieron del cultivo. Los fertilizantes fosfatados se aplicaron en banda para los

Cuadro 1. Caracterización de los sitios y suelos donde se establecieron los experimentos.

Parámetro	Las Animas Ipiales	El Porvenir Morales	La Libertad Villavicencio
ASNM (m)	2 850	1 600	310
Precipitación anual (mm)	980	2 600	2 800
Temp. media anual (°C)	12	18.5	25
Clasificación suelos	Typic dystrandept	Entic dystrandept	Tropeptic haplorthox
pH (1:1)	5.52	5.00	4.98
M.O. (%)	3.16	20.96	3.84
P Bray II (ppm)	19.80	3.95	4.50
P Bray I (ppm)	12.40	1.75	4.00
Al int. (meq/100 g)	0.05	2.15	3.40
Ca int. (meq/100 g)	6.95	0.27	0.09
Mg int. (meq/100 g)	1.32	0.14	0.07
K int. (meq/100 g)	0.53	0.11	0.08
CIC efectiva (meq/100 g)	8.85	2.67	3.64
Sat. de Al (%)	0.56	80.52	93.41
Zn (ppm)	4.46	2.27	1.80
Mn (ppm)	15.14	7.79	11.53
Cu (ppm)	0.19	0.11	0.30
Fe (ppm)	10.69	5.12	13.60

ASNM = altura sobre el nivel del mar.

Cuadro 2. Fósforo total, soluble en agua y en citrato de amonio neutro (CAN) de los productos fosfatados utilizados.

Fuente de P*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble en agua	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble en CAN
----- % p/p -----			
SFT	46.2	40.2	5.0
RFH	19.4	0.0	3.5
RFHPA	16.9	9.4	1.5
RFH/SFT	30.9	15.3	4.5
RFC	19.9	0.0	2.3
RFCPA	15.6	4.0	3.0
RFC/SFT	30.0	14.9	3.7

SFT = superfosfato triple, RFH = roca fosfórica Huila, RFHPA = roca fosfórica Huila parcialmente acidulada, RFC = roca fosfórica Capinota, RFCPA = roca fosfórica Capinota parcialmente acidulada.

cultivos de papa, frijol y maíz. En la rotación arroz-soya se aplicaron los fosfatos al voleo y se incorporaron antes de cada siembra. Después de la primera siembra cada parcela se dividió en dos, y a una de las subparcelas (A), antes de cada siembra, se le

aplicó la cantidad de P usada inicialmente. La otra subparcela (B) no recibió más P, con el fin de estudiar el efecto residual del fertilizante aplicado a la primera siembra. En todos los ensayos se utilizó un diseño de bloques completamente al azar.

A la cosecha se determinaron rendimientos; se tomaron además muestras de suelos por parcela con el fin de evaluar varios métodos de determinación de P, entre los cuales se encuentra el del Pi (tira de papel impregnada con óxidos e hidróxidos de Fe).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Investigaciones realizadas por el IFDC (Hammond *et al.*, 1980; León y Arregocés, 1987; Menon *et al.*, 1991; Mokwunye y Chien, 1980) han demostrado que las RF altas en óxidos de Fe y Al como la RF Capinota, no presentan una estabilidad en el P soluble en agua que se produce cuando éstas se acidulan parcialmente con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

La RFCPA después de tres meses de acidulada presentó una reducción del P soluble en agua



de 4.0 a 2.8% (Cuadro 3), mientras que el P soluble en citratos se incrementó en 1.8%. Este fenómeno no se presentó en el caso de la RFHuila PA, en la cual su P soluble permaneció prácticamente constante con el tiempo de reposo. Por esta razón se utilizaron las RFCPA y RFHPA en los experimentos aquí presentados, con el fin de comparar su efecto inicial y residual y de estudiar la alternativa de compactar la RFC con el SFT en lugar de acidularla. Los resultados obtenidos en los ensayos con papa, frijol-maíz, arroz-soya y maíz se presentan y discuten a continuación.

### Papa.

Los resultados de la primera cosecha de papa se pueden observar en el Cuadro 4.

A pesar de que el suelo es relativamente alto en P disponible (12.4 ppm P Bray I), la papa respondió a las adiciones de P hasta 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. La mejor fuente resultó ser el SFT, seguida de la RFC compactada con SFT. En este caso resultó mejor la RFCPA que la RFHPA cuando se aplicaron dosis altas de 200 y 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

A la segunda siembra sólo fue posible reaplicar las dosis de SFT y de los compuestos que tenían RFH. Por esta razón en el Cuadro 4 solo se presentan los rendimientos de papa

obtenidos con SFT, RFH, RFHPA, RFH/SFT y el testigo. Debido a la falta de agua durante el periodo de crecimiento de la papa, los rendimientos fueron más bajos que en la alta fue a 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> no hubo diferencias significativas entre fuentes, incluida la RFH molida. El efecto residual se puede apreciar en el Cuadro 4.

La RFH/SFT presentó un buen efecto residual pero el compactado de RFC fue superior y sobrepasó al efecto del SFT.

Cuadro 3. Efecto del tiempo de reposo de RPPA a 50% con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en su contenido de P soluble en agua.

Fuente de P <sup>x</sup> Tiempo	Análisis químico		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble en agua	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Disponible <sup>y</sup>
	----- % p/p -----		
<b>RFCPA</b>			
1 día	15.6	4.0	7.0
1 mes	15.5	3.2	7.4
3 meses	15.5	2.8	7.6
<b>RFHPA</b>			
1 día	16.9	9.4	10.9
1 mes	17.3	9.0	10.6
3 meses	17.1	8.8	10.5

<sup>x</sup>Suma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble en agua y en citrato de amonio neutro.

<sup>y</sup>ver descripción de fuentes de P en Cuadro 2.

Cuadro 4. Respuesta inicial y residual de la papa a siete fuentes de P (Dosis: 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha).

Fuente <sup>z</sup> de P	Primer cultivo		Segundo cultivo A <sup>1</sup>		Segundo cultivo B <sup>2</sup>	
	Rend.	EAR	Rend.	EAR	Rend.	EAR
	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%
SFT	25 170	100.0	15 500	100.0	13 200	100.0
RFH	22 080	56.2	14 350	82.3	12 200	78.3
RFC	18 080	-0.6	-----	-----	10 800	47.8
RFHPA	22 330	59.8	14 150	79.2	12 200	78.3
RFCPA	23 670	78.7	-----	-----	10 440	40.0
RFH/SFT	22 830	66.9	14 400	83.1	12 900	93.5
RFC/SFT	25 080	98.8	-----	-----	13 650	109.8
Testigo	18 130	-----	9 000	-----	8 600	-----

1) Se aplicó nuevamente el P antes de la segunda siembra.

2) No se aplicó P a la segunda siembra

EAR = efectividad agronomica relativa

$$EAR = \frac{\text{Rend. Trat.} - \text{Rend. Testigo}}{\text{Rend. SFT} - \text{Rend. Testigo}} \cdot 100$$

<sup>z</sup>ver descripción de fuentes de P en Cuadro 2.

**Frijol-Maíz.**

Los resultados que se presentan en el Cuadro 5 indican que la RFHPA o la RFH/SFT se comportaron en forma similar al SFT cuando se aplicaron antes de cada nueva siembra de frijol en Inceptisoles de clima medio de Colombia. En cambio, la RFCPA dio rendimientos más bajos que la RFHPA y solamente la

RFC/SFT produjo en total un rendimiento superior al del SFT. El efecto residual de la RFH fue muy bueno si se comparan los rendimientos A y B (92%) pero en ambos casos éstos fueron muy bajos en relación con el SFT (EAR 14.4% para A). Los mejores efectos residuales se obtuvieron con el SFT (77%) y con la RFHPA (70%). La RFC/SFT dio una producción total alta cuando se aplicó antes de cada siembra pero su efecto residual resultó muy pobre (32%). Parece que la RFC, que es menos reactiva que la RFH, cuando se compacta con SFT produce un buen efecto inicial debido posiblemente al fosfato soluble. En cambio, parece que la RFH compactada con SFT adiciona al fosfato soluble su propio efecto residual (64%).

**Cuadro 5. Efecto de siete fuentes de P aplicadas antes de cada siembra (A) o solo una vez antes de la primera siembra (B) en la producción total de tres siembras de frijol PVA 916. El Porvenir, Morales, Cauca, Colombia.**

Fuente de P <sup>2</sup>	Rendimiento A	Rendimiento B	(C)
	Frijol,	Frijol,	
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	%
SFT	5 285.7	4 072.4	77
RFH	1 153.0	1 062.0	92
RFC	1 026.0	387.7	38
RFHPA	5 216.7	3 649.7	70
RFCPA	4 306.0	2 630.8	61
RFH/SFT	5 558.7	3 535.4	64
RFC/SFT	5 461.0	1 731.4	32
Testigo	455.9	455.9	--

(A) Fósforo aplicado por tres veces a razón de 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha antes de cada siembra (Total 450 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha).

(B) Fósforo aplicado inicialmente antes de la primera siembra. No se aplicó P a las dos siembras siguientes (Total 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha).

(C) Porcentaje del rendimiento total del tratamiento (A) obtenido con el total del tratamiento (B).

<sup>2</sup> ver descripción de fuentes de P en Cuadro 2.

Con los resultados de este experimento se hizo un análisis económico. Los resultados del análisis marginal de beneficios netos para los tratamientos dominantes se presentan en el Cuadro 6. De acuerdo con la información obtenida, las mejores fuentes y dosis serían los tratamientos con SFT aplicado en dosis de 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, cada semestre (SFT 1A), con una tasa de retorno de 1 815.7% en año y medio, y el SFT aplicado una sola vez en dosis de 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (SFT 3B), con una tasa de retorno de 648.8% en el mismo periodo. El uso de RFH/SFT aplicado en la dosis de 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> cada semestre presentó el mayor beneficio neto de todos los tratamientos, pero sólo proporcionaría una tasa de retorno de 50% en año y medio, lo cual lo hace inaceptable.

**Cuadro 6. Análisis marginal de beneficios netos en frijol. El Porvenir, Morales, Cauca, Colombia. (En pesos colombianos. Tasa por dólar 670).**

Fuente de P <sup>2</sup> y tratamiento	Beneficio neto parcial	Costos variables	Incr. marginal en beneficio neto	Inc. marginal costo variable	Tasa de ret marginal (%)
RFH/SET 3A <sup>1</sup>	1 607.720	433.400	100.592	201.168	50.0
SFT 1A <sup>1</sup>	1 507.128	232.232	277.478	15.292	1815.7
SFT 3B <sup>2</sup>	1 229.650	216.950	146.500	22.580	648.8
RFHPA 3B <sup>2</sup>	1 083.150	194.370	26.360	19.360	136.2
RFH/SFT 3B <sup>2</sup>	1 056.790	175.010	----	----	---
1	2	3	4	5	4/5 * 100

1) A = Aplicación de P antes de cada cosecha.

1 = 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha; 3 = 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

2) B = Aplicación de P solamente a la primera siembra.

<sup>2</sup> ver descripción de fuentes de P en Cuadro 2.

Después de tres cosechas de frijol se sembró maíz debido a que se presentaron problemas de enfermedades en el frijol y, a pesar de un buen control fitosanitario, los rendimientos habían disminuido notablemente. Los resultados de la cosecha de maíz se presentan en el Cuadro 7. El promedio de los rendimientos de las tres dosis de P indican que tanto la RFHPA como la RFH/SFT generaron producciones similares a las del SFT. También la RFC/SFT aplicada antes de la siembra produjo buenos rendimientos (EAR 93.3%). Con excepción de la RFHPA y la RFH/SFT el efecto residual de las fuentes de P fue muy pobre y en muchos casos los rendimientos resultaron más bajos que en el testigo.

Cuadro 7. Respuesta del maíz a siete fuentes de P después de tres cosechas continuas de frijol en El Porvenir, Morales, Cauca, Colombia.

Fuente de P <sup>2</sup>	Tratamiento A <sup>1</sup>		Tratamiento B <sup>2</sup>	
	Rend.	EAR	Rend.	EAR
	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%
SFT	3049	100.0	952	100.0
RFH	997	9.1	728	---
RFC	910	5.3	400	---
RFHPA	2967	96.4	1436	400.6
RFCPA	2072	56.7	773	---
RFH/SFT	3007	98.1	1036	152.2
RFC/SFT	2898	93.3	320	---
Testigo	791	---	791	---

1) A = Cuatro aplicaciones de P antes de tres cosechas de frijol y una de maíz.

2) B = Una sola aplicación de P a la siembra de frijol.

<sup>2</sup> ver descripción de fuentes de P en Cuadro 2.

### Maíz.

Se evaluaron dos cosechas de maíz seguidas en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia. Los resultados de rendimiento se pueden ver en el Cuadro 8. A pesar de que se trata de un suelo ácido (pH 4.98, saturación de Al de 93.4%), muy bajo en Ca y Mg intercambiables, tanto la RFH como la RFC dieron los más bajos rendimientos en la primera siembra. Las otras fuentes de P presentaron una eficiencia agronómica similar, aunque destacaron el SFT, la RFHPA y la RFC/SFT. En la segunda cosecha se obtuvieron rendimientos más bajos que en la primera, debido a la falta de lluvia en la región.

Cuadro 8. Respuesta del maíz, CIAT 885A-33TSA, a fuentes y dosis de P en un Oxisol de la Libertad, Villavicencio, Meta, Colombia.

Fuente de P <sup>2</sup>	Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Primera cosecha	Segunda cosecha	
			Trat. A	Trat. B
kg ha <sup>-1</sup>				
SFT	50	1 551	1 922	1 248
	100	2 521	2 073	1 323
	150	2 619	2 764	2 169
RFH	50	646	800	624
	100	923	1 099	592
	150	1 457	1 392	1 059
RFC	50	590	713	455
	100	1 086	1 011	636
	150	1 259	1 559	710
RFHPA	50	1 635	1 602	893
	100	2 557	2 161	1 344
	150	2 592	2 472	1 633
RFCPA	50	1 776	1 400	1 186
	100	2 370	1 613	1 213
	150	3 126	2 587	2 181
RFH/SFT	50	1 348	1 294	1 204
	100	2 085	2 140	720
	150	2 327	2 785	1 232
RFC/SFT	50	1 784	1 761	1 304
	100	2 428	2 702	2 023
	150	2 285	2 487	2 332
Testigo	0	343	505	505

<sup>2</sup> ver descripción de fuentes de P en Cuadro 2.

A pesar de la poca respuesta a la RFH, se observó un buen efecto residual en la dosis alta de P. Lo mismo sucedió con el SFT y con la RFHPA. La RFC/SFT presentó rendimientos altos cuando se aplicó en la primera siembra, lo que indica su buen efecto residual. Aunque la RFCPA también presentó un efecto residual notable, los rendimientos producidos no fueron tan buenos como los de la primera siembra.

### Rotación Arroz-Soya.

A comienzos de 1990 se estableció en los Llanos Orientales de Colombia un experimento para ensayar siete fuentes de P en una rotación arroz-secano-soya. En este ensayo se hicieron dos siembras de arroz y dos de soya. Los resultados generales se pueden ver en el Cuadro 9. La respuesta inicial de arroz a las diferentes fuentes fue similar en todos los casos, pero destacan la RFHPA, la RFH/SFT y la RFCPA. La RFH molida dio rendimientos superiores al SFT. El efecto residual de la RFH en la soya (90B) y en el arroz (91A) fue alto pero decayó en la segunda siembra de soya (91B). La RFHPA presentó los mejores resultados cuando se añadió antes de cada

**Cuadro 9. Respuesta del arroz, Oryzica 6, y la soya, Soyica P33, a fuentes de P en un Oxisol de la Libertad, Villavicencio, Meta, Colombia. Promedio de tres dosis de P.**

Fuente de P <sup>z</sup>	Rend. arroz paddy 90 A	Rend. soya 90 B		Rend. arroz paddy 91A		Rend. soya 91B	
		A	B	A	B	A	B
----- kg ha <sup>-1</sup> -----							
SFT	4 543	556	398	3 475	2 031	613	509
RFH	4 616	517	517	3 528	2 805	636	494
RFC	4 310	449	360	2 697	2 206	567	492
RFHPA	5 108	608	381	3 822	2 530	682	630
RFCPA	4 638	487	303	3 948	2 638	618	462
RFH/SFT	4 675	620	473	2 458	1 896	636	485
RFC/SFT	4 277	518	378	3 045	1 906	717	520
TESTIGO	3 042	210	210	1 867	1 867	433	433

A = Se aplicó el P antes de cada siembra.

B = Sólo se aplicó P cuando se hizo la primera siembra de arroz.

<sup>z</sup>ver descripción de fuentes de P en Cuadro 2.

siembra y su efecto residual con arroz y soya fue aceptable. Los rendimientos de la soya fueron muy bajos, en general, debido a que el material no resultó muy resistente a suelos con alta saturación de Al y bajos contenidos de Ca y Mg intercambiables. Es muy posible que parte de los buenos resultados obtenidos con la RFH y la RFHPA se deban al Ca que estos materiales posiblemente están suministrando a los cultivos (León y Arregocés, 1987; León y Fenste, 1979; Mokwunye y Chien, 1980).

### CONCLUSIONES

Cuando la RF no tiene altos contenidos de óxidos de Fe y Al es posible obtener resultados agronómicos similares si la RF ha sido parcialmente acidulada o se ha compactado con un fosfato soluble. En el caso de RF poco reactivas y con altos contenidos de óxidos de Fe y Al, como la RF Capinota de Bolivia, parece aconsejable compactarla con un fosfato soluble, si se quiere incrementar su efectividad agronómica, en lugar de acidularla parcialmente. El efecto residual de las fuentes de P estudiadas parece depender del cultivo y de las propiedades químicas del suelo. Los mejores efectos residuales parece que se obtienen en general, con los fosfatos solubles, como el SFT, y la RFHuilaPA. Es muy posible que el Ca que se encuentra en el RFHPA como CaSO<sub>4</sub> producido al acidular la RFH con

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> esté contribuyendo substancialmente a la nutrición de plantas como frijol y soya, cuando crecen en suelos ácidos con bajos porcentajes de saturación de bases. Esto puede explicar en parte su buen efecto residual.

Los resultados del análisis económico realizado con el ensayo de frijol indican que es mejor hacer aplicaciones de dosis bajas de P en forma de fosfatos solubles antes de cada siembra que hacer altas aplicaciones de fosfatos semisolubles o poco solubles a la primera siembra esperando un efecto residual que pague la inversión inicial. Los resultados obtenidos en los ensayos presentados indican que para los cultivos y suelos estudiados, no es posible lograr una producción sostenida mediante el efecto residual producido por el uso de fertilizantes fosfatados de media o baja efectividad agronómica.

### LITERATURA CITADA

- CHIEN, S.H., D. SOMPOGSE, J. HENAO, and D. T. HELLUMS. 1987. Greenhouse evaluation of phosphorus availability from compacted phosphate rocks with urea or with urea and triple superphosphate. *Fert. Res.* 14: 245-256.
- HAMMOND, L.L., S.H. CHIEN, and J.R. POLO. 1980. Phosphorus availability from partial acidulation of two phosphate rocks. *Fert. Res.* 1: 37-49.

- LEON, L.A., and W.E. FENSTER. 1979. Management of phosphorus in the Andean Countries of Tropical Latin America. *In*: Phosphorus in Agriculture: The importance of phosphorus in a balanced fertilisation. No. 76, Sept. 1979 ISMA, Paris.
- LEON, L.A., W.E. FENSTER, and L.L. HAMMOND. 1986. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru and Venezuela. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 798-802.
- LEON, L.A. y O. ARREGOCES (eds). 1987. Alternativas sobre el uso como fertilizantes de fosfatos nativos en América Tropical y Subtropical. Memorias del Seminario Celebrado en el CIAT, Colombia, del 4 al 6 de noviembre, 1987. CIID, IFDC, CIAT. Documento de Trabajo No. 46, CIAT, A.A. 6713, Cali, Colombia.
- MARTINEZ, A., L.A. LEON y J. NAVAS. 1987. Uso potencial de rocas fosfóricas y de rocas fosfóricas parcialmente aciduladas en la agricultura colombiana. pp. 243-270. *In*: L.A. León y O. Arregocés Alternativas sobre el uso como fertilizantes de fosfatos nativos en América Tropical y Subtropical. Documento de Trabajo No. 46, CIAT, A.A. 6713, Cali, Colombia.
- MENON, R.G., S.H. CHIEN, and ABD EL NABI GADALLA. 1991. Phosphate rocks compacted with superphosphates vs partially acidulated rocks for bean and rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1480-1484.
- MOKWUNYE, U., and S.H. CHIEN. 1980. Reactions of partially acidulated phosphate rock with soils from the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 477-482.
- SANCHEZ, P.A., and J.G. SALINAS. 1981. Low-input technology for managing oxisols and Ultisols in Tropical America. *Advances in Agronomy* 35: 279-406.

## **EFFECTO RESIDUAL DE LA APLICACION DIRECTA DE ROCA FOSFORICA CAPINOTA EN UN OXISOL Y ROCA PROCESADA EN UN ENTISOL**

**Residual Effect of The Direct Application of Capinota Rock  
Phosphate in Oxisol and Processed Rock in Entisol**

**Juan Bellott Montalvo**

Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Agronomía.  
Cochabamba, Bolivia, Casilla 4894

**Palabras clave:** Efecto residual, Roca fosfórica cogranulada, Roca fosfórica parcialmente acidulada, Roca fosfórica capinota.

**Index Words:** Residual effect, Compacted phosphate rock, Partially acidulated phosphate rock, Capinota phosphate rock.

### **RESUMEN**

La roca fosfórica Capinota (RFC), caracterizada como de baja reactividad, mostró, en evaluaciones agronómicas de la aplicación directa, un efecto inicial positivo en Oxisoles ácidos del trópico; fue importante completar la información del efecto residual, como posible fuente de abastecimiento de fósforo por varios años. Para tal efecto, en un experimento de campo se ensayaron tres fuentes de fósforo: superfosfato triple (SFT), roca fosfórica Capinota y roca fosfórica Bayobar (RFB), en tres dosis positivas, utilizando como cultivo indicador trigo (*Triticum aestivum* L.). Se observó una mayor respuesta relativa de la RFC, comparada con una fuente más soluble (SFT).

En Entisoles de altura, la aplicación directa de la RFC no tiene reactividad por lo

cual es necesario mejorar su solubilidad por acidulación parcial o por cogranulación con otra fuente soluble. Para la comparación de la roca parcialmente acidulada (RFPA) y roca fosfórica cogranulada (RFCO), la prueba se realizó en suelos de altura a 3850 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se ensayaron tres fuentes de fósforo: superfosfato triple (SFT), roca fosfórica parcialmente acidulada (RFPA) y roca fosfórica cogranulada (RFCO); cada fuente se empleó en dosis de 60, 120 y 240 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Se observó una mejor respuesta en la dosis de 60 kg ha<sup>-1</sup> en las tres fuentes de acuerdo con el siguiente orden: SFT>RFCO>RFPA.

### **SUMMARY**

Capinota phosphate rock (RFC), characterized to be a low reaction rock, on agronomic research, showed on his first effect positive responses in tropical acid Oxisols. It has been important to complete the research as a possible phosphorus source for many years. A field experiment was done with three phosphorus sources: SFT, RFC and Bayobar phosphate rock, with wheat (*Triticum aestivum* L.) as the indicator plant. A better relative response was observed on RFC, compared to the most soluble source (SFT).

On Entisols of high altitude, direct application of RFC does not have reaction;

Recibido 9-93.

therefore it is necessary to improve its solubility with a partial acidulation or a congranulation with other soluble source. A comparison with RFPA (partially acidulated rock) and (RFCO) congranulated phosphate rock. The field trial was done on soil at 3850 meters above sea level. Three phosphorus sources were tested: SFT, RFPA (50%) and RFCO. Each source had three positive rates (60, 120 and 240 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>). A better response was observed to the 60 kg ha<sup>-1</sup> rate in the three sources with the decreasing order: SFT>RFCO>RFPA.

## INTRODUCCION

El fósforo (P) es considerado como uno de los elementos que limitan la producción de cultivos, en la mayoría de los suelos agrícolas de Bolivia, tanto de la región tropical, con contenidos bajos en P total y disponible, como de los suelos de altura de la región andina. La deficiencia de P es el principal obstáculo para el incremento de la producción (Amurrio, 1991; Bellott, 1990; Rodríguez, 1989).

La comercialización internacional de fertilizantes es prohibitiva para los pequeños agricultores debido a su elevado costo; la utilización de fertilizantes convencionales solubles en agua, tales como el superfosfato triple, superfosfato simple y el fosfato diamónico, no es generalizada debido a los altos costos de transporte de los puertos a los sitios de consumo, lo que obligó a tomar particular interés en los depósitos locales de roca fosfórica, que son probados para utilizar como una opción más económica. Es por ello que desde hace varios años se está investigando este recurso local en busca de un adecuado sustituto a los fertilizantes convencionales. La roca fosfórica (RF) molida es el fertilizante más accesible dentro de la gama de fertilizantes de bajo costo para uso en suelos ácidos.

Para utilizar la RFC en suelos neutros o básicos debe mejorarse químicamente su reactividad, una forma de hacerlo es aumentar la solubilidad mediante la acidulación parcial; es decir, usar sólo una porción del ácido normalmente empleado para producir superfosfato, con el consiguiente ahorro de ácido sulfúrico sintetizado por vía húmeda (IFDC, 1986).

La otra técnica que aumenta la solubilidad de la roca fosfórica es la compactación-cogranulación sin reacciones químicas, ya que la mezcla de una fuente fosforada de alta solubilidad con la RF es en seco, sin la aplicación de ácido sulfúrico (Menon *et al.*, 1991). Con el objetivo de complementar los estudios, se realizó la evaluación agronómica del efecto residual de la aplicación directa de la RFC, en suelos ácidos, y la comparación de rocas mejoradas en su solubilidad por dos técnicas, (acidulación parcial y cogranulación) en suelos de altura de la región andina de Bolivia.

## MATERIALES Y METODOS

Para la evaluación del efecto residual de la RFC, el experimento se instaló en el mismo sitio donde se realizó la evaluación del efecto inicial en la región oriental de Bolivia, en el Departamento de Santa Cruz de la Sierra, Estación Experimental El Vallecito, situado a 398 msnm. Para determinar las características del suelo, se realizó un muestreo a una profundidad de 0-20 cm en el momento de la siembra del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Para la evaluación del efecto inicial se presentan los valores del Cuadro 1, donde se aprecia que el suelo tiene una textura franca y una reacción ácida, el contenido de fósforo aprovechable es bajo.

Cuadro 1. Características del suelo (0-20 cm de profundidad) en el sitio experimental "El Vallecito"

Característica	Unidades	Valor
pH		5.6
C.E.	mmho/cm a 25 ° C	0.068
Materia Orgánica	%	4.6
Fósforo	ppm	5.3
Potasio intercambiable	meq/100 g	0.5
Calcio	meq/100 g	6.6
Magnesio	meq/100 g	0.8
Sodio	meq/100 g	0.07
Arena	%	35.0
Limo	%	43.0
Arcilla	%	21.0

Clasificación textural: franco.

La precipitación pluvial en el sitio experimental es de 1141 mm, con una temperatura media anual de 25 °C.

Cuadro 2. Relación de tratamientos ensayados en "El Vallecito".

Trat <sup>z</sup> No.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Fuente de fósforo
1	0	Testigo absoluto
2	0	Testigo
3	100	SFT
4	500	SFT
5	100	RFC
6	500	RFC
7	1000	RFC
8	100	RFB
9	500	RFB
10	1000	RFB

<sup>z</sup>Se aplicaron 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (urea) y 50 kg ha<sup>-1</sup> de potasio (cloruro de potasio) en todos los tratamientos, excepto el 1.

SFT = Superfosfato triple; RFC = Roca fosfórica Capinota = RFB = Roca fosfórica Bayobar.

Cuadro 3. Características del suelo después de evaluar el efecto inicial de roca fosfórica.

Trat. No.	pH	C.E mmho/cm	Nitrógeno total	Fósforo ppm	Ca meq/100 g	Mg meq/100 g
1	5.6	0.06	0.13	3.1	7.0	2.0
2	4.9	0.09	0.12	3.1	6.0	1.0
3	5.4	0.06	0.12	3.9	6.0	2.0
4	5.3	0.07	0.14	11.5	8.0	1.0
5	5.4	0.08	0.15	6.3	5.0	2.0
6	5.3	0.06	0.13	5.2	8.0	2.0
7	5.3	0.09	0.13	5.2	7.0	3.0
8	5.2	0.09	0.13	10.5	7.0	4.0
9	5.2	0.07	0.14	5.2	8.0	1.0
10	6.4	0.02	0.14	7.0	8.0	2.0

En el experimento de campo se ensayaron tres fuentes de fósforo: superfosfato triple (SFT), roca fosfórica Capinota (RFC) y roca fosfórica Bayobar (RFB), según se muestra en la relación de tratamientos que se reportan en el Cuadro 2. Todos los tratamientos, excepto el 1, que fue testigo absoluto, llevaron una dosis uniforme de 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno abastecido a partir de urea, y una dosis uniforme de potasio 50 kg ha<sup>-1</sup>, usando como fuente el cloruro de potasio.

Para la evaluación del efecto inicial de la RF cada parcela, experimental fue de cuatro surcos de 60 cm de ancho y 5 m de largo. La

aplicación de los fertilizantes fue en banda al surco. Efectuada la evaluación del efecto inicial, se procedió a preparar el suelo manualmente, respetando la unidad experimental (2.4 x 5 m) por tratamiento y repetición. Las unidades experimentales fueron uniformemente homogeneizadas. Antes de la siembra del cultivo de trigo, se realizó un muestreo de suelo de cada unidad experimental por tratamiento y repetición (los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 3). La siembra del trigo en cada unidad experimental se hizo a chorro continuo en 12 surcos de 20 cm de ancho por 5 m de largo, con una densidad de 120 kg semilla ha<sup>-1</sup>; en el ensayo se evaluó el rendimiento de grano en kg ha<sup>-1</sup>.



La comparación de la RFPA y RFCO se realizó en suelos de altura del área andina de Cochabamba a 3850 msnm con una precipitación de 380 mm y una temperatura media de 12 °C. Se hizo un muestreo de suelo a una profundidad de 0-20 cm en el momento de la siembra del cultivo de papa (*Solanum andigenum*) variedad Polonia, papa nativa amarga, utilizada por el habitante andino como chuño (papa congelada y luego deshidratada). Los valores del análisis del suelo se presentan en el Cuadro 4. El suelo tiene una textura franco arcillosa, es de reacción ácida y presenta un bajo contenido de fósforo aprovechable.

Cuadro 4. Características del suelo (0-20cm.) en el sitio experimental Challa (Cochabamba).

Característica	Unidades	Valor
pH		5.1
C.E.	mmho/cm	0.5
Materia orgánica	%	5.4
Fósforo	ppm	5.4
Potasio intercambiable	meq/100 g	0.7
Calcio	meq/100 g	1.5
Magnesio	meq/100 g	0.5
Sodio	meq/100 g	1.4
Arena	%	44.0
Limo	%	29.0
Arcilla	%	27.0

Clasificación textural: franca arcillosa.

En el experimento de campo se ensayaron tres fuentes de fósforo: superfosfato triple (SFT), roca fosfórica parcialmente acidulada (RFPA 50%) y roca fosfórica compactada (RFCO), según se muestra en la relación de tratamientos que se muestra en el Cuadro 5. Todos los tratamientos llevaron una dosis uniforme de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, incluyendo el testigo, y tres dosis positivas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Cada parcela experimental constó de cuatro surcos de 60 cm de ancho y 6 m de largo. La papa fue sembrada a una distancia de 30 cm a lo largo del surco; la aplicación de los fertilizantes fue en banda al surco. A la cosecha, la evaluación se realizó en rendimiento de tubérculos (kg ha<sup>-1</sup>).

## RESULTADOS

En la evaluación del efecto residual se tomó el rendimiento en grano de trigo con 14%

Cuadro 5. Relación de tratamientos<sup>a</sup> ensayados en el sitio experimental, Challa (Cochabamba).

Tratamiento No.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fuente de fósforo
	kg ha <sup>-1</sup>	
1	0	Testigo
2	60	SFT
3	120	SFT
4	240	SFT
5	60	RFCO
6	120	RFCO
7	240	RFCO
8	60	RFPA
9	120	RFPA
10	240	RFPA

<sup>a</sup> = Se utilizó urea como fuente de nitrógeno en todos los tratamientos.

de humedad, obtenido de cada tratamiento (Cuadro 6). Este osciló entre 1362 kg ha<sup>-1</sup> para el testigo y 2427 kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento 10, que llevó la fertilización fosfatada (1000 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de la roca Bayobar; a este tratamiento le siguieron, en rendimiento, los tratamientos 6 y 7 que fueron con la RFC. Con el SFT se lograron rendimientos relativamente inferiores a los de las dos rocas fosfóricas, aunque sin diferencia estadística significativa.

Cuadro 6. Rendimiento de trigo en el ensayo de efecto residual de la roca fosfórica.

Trat. No.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fuente de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rendimiento
	kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>
1	0	Testigo	1362 b <sup>a</sup>
2	0	N+K	1431 b
3	100	S.F.T	1560 b
4	500	S.F.T	1721 ab
5	100	R.F.C	1790 ab
6	500	R.F.C	1970 ab
7	1000	R.F.C	1950 ab
8	100	R.F.B	1525 b
9	500	R.F.B	1822 ab
10	1000	R.F.B	2427 a

<sup>a</sup> = Medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales.

El Cuadro 7 muestra los resultados obtenidos en la comparación de la RFPA (50%) y es RFCO en suelos de altura en el cultivo de papa. El rendimiento de tubérculos en kg ha<sup>-1</sup>

osciló entre 1005 kg ha<sup>-1</sup>, para el testigo, y 21 056 kg ha<sup>-1</sup>, para el tratamiento<sup>2</sup> con una fertilización fosfatada de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a partir de SFT, a este tratamiento le siguieron en rendimiento los tratamientos de RFCO y RFPA (tratamientos 5 y 8), con la misma fertilización fosfatada.

Cuadro 7. Rendimiento en la comparación del efecto de la roca fosfórica parcialmente acidulada (RFPA) versus congrasada (RFCO) en el cultivo de papa.

Tratamiento No.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Fuente de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rend. <sup>a</sup> kg ha <sup>-1</sup>
1	0	Testigo	1005 c
2	60	SFT	21056 a
3	120	SFT	19778 a
4	240	SFT	16722 ab
5	60	RFCO	20777 a
6	120	RFCO	17332 ab
7	240	RFCO	17389 ab
8	60	RFPA	19111 a
9	120	RFPA	15611 b
10	240	RFPA	15444 b

a = Medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales.

SFT = superfosfato triple.

En el Cuadro 7 se puede observar que al aplicar dosis crecientes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en las tres fuentes, solamente los primeros 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> tuvieron efecto sobre el rendimiento; dosis mayores produjeron rendimientos inferiores, lo que podría haber sido por el efecto varietal de la papa (esto se fundamenta en el capítulo de discusión).

## DISCUSION

Los resultados obtenidos del efecto residual de la roca fosfórica en ensayos de campo corroboran la necesidad de una fertilización fosfatada en Oxisoles de las tierras bajas, los que aproximadamente constituyen 18.9% de los suelos de Bolivia con los subórdenes: Uxtox, Orthox y Aquox en porcentajes de 13.8%, 3.46% y 1.66%, respectivamente. El mayor porcentaje de estos suelos se presenta en la región tropical húmeda del este de Bolivia, llanuras del Beni y llanuras de Pando, con pH ligeramente ácido y bajo contenido de fósforo.

Tanto la roca fosfórica Capinota como la Bayobar produjeron rendimientos, en grano, de trigo relativamente superiores a los obtenidos con el superfosfato triple, lo cual constituye una ventaja económica que se lograría al utilizar la roca fosfórica Capinota, sustituyendo a las fuentes convencionales de fósforo en esta región. En la actualidad no se dispone de roca fosfórica en venta directa a los agricultores, por lo que será necesario más investigación bajo condiciones de campo, para llegar al convencimiento de las ventajas del uso de esta fuente.

En la comparación de la RFPA y la RFCO en suelos de altura, los resultados obtenidos muestran que la RF varía en su efectividad como fertilizante de acuerdo a las características de suelo, cultivo y, dentro el cultivo, la variedad, como ocurrió en el presente caso en el que se utilizó para la evaluación una variedad nativa de papa (Polonia), variedad amarga que difiere de las papas dulces, por ser tolerante a las heladas y por tener un particular comportamiento fisiológico que responde a los primeros 60 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; dosis mayores redujeron los rendimientos en las tres fuentes. Otro factor que también determinó la disminución de los rendimientos con dosis mayores fue la baja humedad registrada durante el desarrollo del cultivo. La eficiencia comparativa de las fuentes de fósforo fue como sigue:

$$\text{SFT} > \text{RFCO} > \text{RFPA}$$

Menon *et al.* (1991) encontraron una eficiencia similar, utilizando las mismas fuentes en ensayos de invernadero conducidos por el IFDC y observaron claramente que la eficiencia agronómica relativa (EAR) de la RFPA decrece con el aumento del porcentaje de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la roca fosfórica Capinota. En estas condiciones se observa la alternativa tecnológica de la compactación de RFC con una fuente soluble en agua (superfosfato triple, superfosfato simple o superfosfato diamónico) que pueden ser agronómica y económicamente convenientes, aunque 50% de la fuente fosforada soluble dependerá de una fuente externa, susceptible a fluctuaciones y variaciones; sin embargo, constituye un avance la utilización del otro 50% de la RF local, pero será necesario realizar más trabajos bajo condiciones de campo, para determinar las ventajas económicas y técnicas de la tecnología de los compactados.

### CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de los experimentos de evaluación agronómica de la roca fosfórica Capinota, considerada de baja reactividad se muestra la posibilidad de sustituir con ella a las fuentes fosforadas de uso convencional bajo las siguientes premisas:

1. Respuesta en aplicación directa en Oxisoles ácidos, siempre que cumpla con todos los requisitos ampliamente conocidos (pH ácido y bajos contenidos de P y Ca). En el efecto residual se observa un efecto acumulativo de la anterior aplicación, con una mayor respuesta relativa respecto de los superfosfatos.
2. Para otra clase de suelos (Entisoles de altura) se observa mejor respuesta a los

cogranulados, debido a su mayor solubilidad que la roca parcialmente acidulada, con cierta ventaja económica respecto al SFT.

### LITERATURA CITADA

- AMURRIO, J. 1991. Resumen preliminar de los suelos de Bolivia.
- BELLOT, M.J. 1990. Resumen de la información geológica, agronómica de la RF y programa de investigación futura en Bolivia.
- I.F.D.C. 1986. Sulfuric Acid Based Partially Acidulated Phosphate Rock. Technical Bulletin T-30. Muscle Shoals, AL, USA.
- RODRIGUEZ, R. 1989. Aplicación de roca fosfórica en cultivo de maíz. Santa Cruz, Bolivia.
- MENON, R.G., S.H. CHIEN, and A.N. GADALLA. 1991. Phosphate rocks compacted with superphosphates vs. partially acidulated rocks for bean and rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1480-1484.

## COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE ROCA FOSFORICA DE BAJA CALIFORNIA EN UN ANDOSOL, UN PLANOSOL Y UN ARIDISOL DE MEXICO

Agronomic Behavior of Baja California Phosphate Rock in an Andosol, a Planosol, and an Aridisol of Mexico

Roberto Núñez Escobar y Francisco Gavi Reyes

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Chapingo, México

*Palabras clave:* Fuentes de fósforo, Nutrición fosfatada, Azufre, Zeolita.

*Index words:* Phosphorus sources, Phosphate nutrition, Sulphur, Zeolite.

### RESUMEN

Se desarrollaron dos experimentos de campo con maíz de temporal (en Andosol y Planosol) y dos ensayos de invernadero con *Lolium perenne* (en Andosol y Aridisol), para evaluar la eficiencia agronómica relativa de roca fosfórica de Baja California (RFBC) con diferente granulometría, aplicada sola o mezclada con azufre elemental. En los ensayos de invernadero se incluyeron además tratamientos con roca fosfórica de Carolina del Norte (RFCN) y RFBC adicionada de zeolita natural de Sonora. En los experimentos de campo se observó que la eficiencia agronómica relativa (EAR) de la RFBC en producción de grano de maíz, casi se duplicó al reducir el tamaño de sus partículas de granulometría comercial (-35 +100 mallas U.S. Standard) a una fineza de -100 mallas. Por el contrario, no se observó efecto favorable con la adición de azufre elemental a la RFBC finamente molida.

Recibido 4-94.

En el ensayo de invernadero con suelo Andosol, la adición de azufre tuvo un efecto positivo sobre la RFBC gruesa, no así sobre la fina. Lo contrario ocurrió con la zeolita, la cual incrementó en 48% la EAR de la RFBC fina, mas no tuvo efecto sobre la RFBC gruesa. La RFCN, con granulometría comercial, tuvo una EAR semejante a la RFBC fina.

En el ensayo de invernadero con suelo Aridisol, la EAR de las rocas fosfóricas fue de sólo 19 a 36% en comparación con superfosfato triple, sin mostrar mejoría con adición de azufre o zeolita, lo cual se atribuye al elevado pH de este suelo.

### SUMMARY

Two field experiments with rainfed corn (in Andosol and Planosol) and two greenhouse trials with *Lolium perenne* (in Andosol and Aridisol) were carried out to assess the relative agronomic efficiency (EAR) of Baja California phosphate rock (RFBC) with different mesh size, applied alone or mixed with elemental sulphur. Additional treatments with North Carolina phosphate rock (RFCN) and RFBC plus natural zeolite from Sonora, were tested in the greenhouse trials. The field trials revealed that the EAR of RFBC on maize grain yield was almost doubled when the particle size was reduced from commercial

value (-35 +100 mesh, U.S. Standard) to a value of -100 mesh. Contrarily, no favorable effect of sulphur was observed when applied to finely ground RFBC.

In the greenhouse trial with Andosol, addition of sulphur had a positive effect on coarse RFBC, but not on finely ground RFBC. The opposite was found with zeolite, since it increased in 48% the EAR of fine RFBC, but it had no effect on coarse RFBC. RFBC under commercial particle size had a EAR similar to that of fine RFBC.

In the greenhouse trial with Aridisol, the EAR of both phosphate rocks was of only 19 to 36% compared with triple superphosphate, without showing improvement with additions of sulphur or zeolite. These results are attributed to the high pH of this soil.

## INTRODUCCION

Los principales depósitos de roca fosfórica de la República Mexicana se encuentran ubicados en el sur de la península de Baja California. Mineralógicamente se trata de francolita con importante grado de sustitución de fosfatos por carbonatos y de calcio por magnesio y sodio, lo cual imparte al mineral una inestabilidad que eleva su reactividad y por lo tanto su capacidad de liberación de fósforo en aplicación directa a suelos ácidos. Los ensayos aquí presentados constituyen la continuación de la línea de investigación sobre evaluación de la eficiencia agronómica de roca fosfórica de Baja California (RFBC) en comparación con superfosfato triple (SFT) y con roca fosfórica de Carolina del Norte (RFCN), esta última reconocida a nivel mundial como una de las más reactivas. Se han ensayado diferentes tamaños de partículas y la adición de agentes acidificantes como el azufre elemental. Los principales avances previos en este programa fueron presentados en la Segunda Reunión de la Red Latinoamericana de Roca Fosfórica, RELARF (Núñez y Gavi, 1991). Una innovación en la investigación que ahora se presenta, lo constituye la adición de zeolita, aluminosilicato natural que por su gran superficie específica y elevada capacidad de intercambio catiónico, ha mostrado en otros estudios, elevar la eficiencia de las rocas fosfóricas por inactivación del calcio en la solución del suelo (Barbarick *et al.*, 1990). Otra innovación es la inclusión de un suelo

alcalino dentro del programa de estudio. La presentación de los métodos experimentales y de los resultados obtenidos se hace en forma independiente para cada experimento, pero las conclusiones se presentan en forma integrada.

## EXPERIMENTO DE CAMPO EN ANDOSOL

Este ensayo se repitió en 1991 y 1992 en el mismo terreno en que se estableció en 1990. El suelo, como su nombre lo indica, es derivado de cenizas volcánicas, rico en arcillas amorfas, con una aparente elevada capacidad de intercambio catiónico, pH ácido (5.6) y muy deficiente en fósforo (1.1 ppm Bray P1) debido a la elevada capacidad de fijación de este elemento. Los tratamientos ensayados en este experimento se presentan en los Cuadro 1 y 2, e incluyen niveles de RFBC gruesa y fina, sola o adicionada de azufre elemental, en comparación con SFT. En el Cuadro 1 se presenta la densidad de población, los rendimientos obtenidos y el fósforo absorbido bajo los distintos tratamientos. La densidad de población no resultó influenciada por los tratamientos y fue más baja que el óptimo. Por el contrario, la altura de las plantas, los rendimientos de grano y rastrojo y la absorción de fósforo fueron fuertemente dependientes de la fuente y la dosis de fósforo aplicado. La mayor eficiencia corresponde al superfosfato triple, seguido por la roca fosfórica fina con o sin azufre, y finalmente por la roca gruesa.

Al calcular la eficiencia agronómica relativa (EAR) de la RFBC en la dosis de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mediante la fórmula:

$$EAR = \frac{RRFBC - RT}{RSFT - RT} \times 100$$

En la cual:

RRFBC = Rendimiento o P absorbido al aplicar RFBC

RT = Rendimiento o P absorbido del testigo.

RSFT = Rendimiento o P absorbido al aplicar SFT.

Se obtienen valores de EAR en rendimiento de grano, con respecto al SFT, del orden de 62.1, 124.7 y 99.8% para la RFBC gruesa, fina y fina más azufre, respectivamente. Las EAR,

Cuadro 1. Características del cultivo de maíz tratado con diferentes fuentes y dosis de fósforo en Cuangatzio, Michoacán, en 1991.

Trat. No.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Fuente de P <sup>1)</sup>	Tamaño partícula <sup>2)</sup>	Azufre kg ha <sup>-1</sup>	Plantas cosechadas por ha	Altura plantas cm <sup>3)</sup>	Rendimiento		P en		P absorbido kg ha <sup>-1</sup>
							rastrojo	grano	grano	rastrojo	
1	0	--	--	0	21555	178e	2306d	207d	0.30	0.076	2.8d
2	50	SFT	granulado	0	22006	217abcde	4613b	724bcd	0.24	0.066	5.3cd
3	100	SFT	granulado	0	25553	250a	6552ab	1559ab	0.29	0.079	9.9ab
4	150	SFT	granulado	0	17316	249ab	7203a	2090a	0.29	0.080	11.8a
5	50	RFBC	-35+100	0	17965	187de	3697cd	528bcd	0.28	0.080	4.7cd
6	100	RFBC	-35+100	0	19661	209bcde	3850cd	797bcd	0.24	0.094	6.0bcd
7	150	RFBC	-35+100	0	23900	225abcd	4135cd	1007bcd	0.28	0.081	6.7bcd
8	50	RFBC	-100	0	19372	205cde	3762cd	852bcd	0.29	0.069	5.3cd
9	100	RFBC	-100	0	23178	217abcde	4562bc	964bcd	0.28	0.073	6.2bcd
10	150	RFBC	-100	0	25343	211abcde	4151cd	1336abc	0.27	0.076	7.5abc
11	200	RFBC	-100	0	22457	226abcd	4576bc	1176abcd	0.31	0.076	7.7abc
12	250	RFBC	-100	0	23449	221abcd	4870bc	1070abcd	0.32	0.084	8.3abc
13	50	RFBC	-100	20	23990	201cde	3914cd	723bcd	0.24	0.075	5.0cd
14	100	RFBC	-100	40	24621	222abcd	4057cd	965bcd	0.30	0.082	6.0bcd
15	150	RFBC	-100	60	28571	232abc	4306cd	1225abcd	0.31	0.082	7.2bcd
DSH <sub>0.05</sub>					8880	40.4	2140	1079	0.137	0.036	4.36
Prob. F.					0.147	<0.01	<0.01	<0.01	0.30	0.20	<0.01
C.V. (%)					26.01	8.71	22.48	45.04	19.35	21.65	30.28

1) SFT = Superfosfato triple; RFBC = Roca fosfórica de Baja California

2) No. de tamis U.S. Standard

3) Cifras seguidas de la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

Cuadro 2. Densidad de población y rendimientos de rastrojo y grano de maíz en Cuangatzio, Mich., 1992.

Trat. No.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Fuente de P <sup>1)</sup>	Tamaño partícula <sup>2)</sup>	Azufre kg ha <sup>-1</sup>	Plantas por ha <sup>3)</sup>	Rendimiento	
						rastrojo	grano
1	0	--	--	0	17496a	490 f	89 e
2	50	SFT	granulado	0	18759a	2488 bcd	804abcd
3	100	SFT	granulado	0	16684a	4315a	1190ab
4	150	SFT	granulado	0	22727a	3733ab	1004abcd
5	50	RFBC	-35+100	0	13311a	1253 e	406 d
6	100	RFBC	-35+100	0	15151a	1858 cde	590 bcd
7	150	RFBC	-35+100	0	15151a	2238 cde	1210a
8	50	RFBC	-100	0	15184a	1448 de	507 d
9	100	RFBC	-100	0	19300a	2482 bcde	985abcd
10	150	RFBC	-100	0	16865a	2370 cde	930abcd
11	200	RFBC	-100	0	17676a	3001abc	808abcd
12	250	RFBC	-100	0	18939a	2457 cde	1102abcd
13	50	RFBC	-100	20	15512a	1980 bcde	504 cd
14	100	RFBC	-100	40	20562a	2245 cde	968abcd
15	150	RFBC	-100	60	21212a	2862abc	1154abc
C.V. (%)					30	27	37
Prob. F					0.227	0.001	0.001

1) SFT = Superfosfato triple; RFBC = Roca fosfórica de Baja California

2) No. de tamis U.S. Standard

3) Cifras seguidas de la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

en términos de fósforo absorbido por el cultivo, mostraron valores de 76, 100 y 88% respectivamente, lo cual demuestra para esta dosis de fósforo, una eficiencia de la RFBC fina, igual a la del SFT, sin mejoría por la adición de azufre y un valor sensiblemente más bajo con la RFBC con granulometría comercial (-35+100 mallas).

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos en este mismo sitio experimental en 1992. Es notoria la baja densidad de población, producto de una intensa sequía al inicio del cultivo, así como del hecho de venir sembrando anualmente maíz, lo que interfirió con el almacenamiento de humedad residual en el suelo, que es precisamente la que propicia la germinación y el desarrollo inicial de las plantas. La práctica usual de los agricultores en esta zona es la de alternar el cultivo de maíz con uno o dos años de descanso del terreno, dedicándolo a pastoreo. La baja densidad de población conllevó a obtener bajos rendimientos de grano y rastrojo; pero a pesar de ello, se detectan respuestas del cultivo a las fuentes y niveles de fósforo aplicado. Con los niveles 50 y 100 kg de  $P_2O_5$  por

hectárea se observa la tendencia a una superioridad del superfosfato triple sobre la roca fosfórica fina, con o sin azufre, y de ésta sobre la roca fosfórica gruesa.

En 1992 la EAR de la RFBC fue muy inferior a la detectada en 1991, con valores de 44.3, 58.5 y 58.0% para RFBC gruesa, fina y fina más azufre, respectivamente, referidos a los rendimientos de grano con la dosis de 50 kg de  $P_2O_5$  por hectárea. Esta baja respuesta al fósforo natural y la carencia de respuesta al azufre, es consecuencia de la limitación de humedad al inicio del ciclo y además pone de manifiesto el escaso o nulo efecto residual de las distintas fuentes de fósforo aplicadas en años anteriores.

#### EXPERIMENTO DE CAMPO EN PLANOSOL

El Planosol de Jijaltepec tiene un pH de 4.6 (en agua) y un contenido de 11.1 ppm P-Bray 1. El experimento de campo desarrollado en este lugar en 1991 se repitió en el mismo sitio del año anterior y constó de los mismos

**Cuadro 3. Características del cultivo de maíz desarrollado bajo diferentes fuentes y dosis de fósforo en Jijaltepec, México, en 1991.**

Tra <sup>1)</sup> No.	Plantas por ha	Altura de plantas cm	Rendimiento		P en		P absorbido kg ha <sup>-1</sup>
			rastrojo	grano	rastrojo	grano	
			kg ha <sup>-1</sup>		%		kg ha <sup>-1</sup>
1	52517b	174.8e	2184c	1770g	0.097	0.32	7.2e
2	58464a	228.8ab	6984ab	4612abcde	0.085	0.34	19.3bcd
3	56467ab	230.0ab	7489a	5135ab	0.082	0.34	20.9abc
4	58941a	231.8a	7872a	5503a	0.110	0.40	27.7a
5	55339ab	202.6cd	4137abc	2850fg	0.097	0.33	12.1de
6	55859ab	198.7d	4010abc	2839fg	0.105	0.33	12.4de
7	56944ab	201.8cd	4198abc	3831cdef	0.075	0.29	13.1cde
8	56163ab	208.7cd	3406bc	3808def	0.070	0.36	14.2cde
9	55816ab	208.3cd	4780abc	3139bcde	0.075	0.39	17.7bcd
10	56076ab	210.7bcd	4713abc	4049bcde	0.092	0.37	17.2bcd
11	55773ab	213.8abcd	5249abc	4821abcd	0.098	0.32	18.4bcd
12	53602ab	211.8bcd	7477a	4959abc	0.083	0.39	22.5ab
13	57769ab	207.2cd	4394abc	3634ef	0.087	0.29	12.8de
14	56771ab	215.7abcd	4777abc	3908cdef	0.082	0.30	14.3cde
15	56467ab	218.7abc	5702abc	4670abcde	0.090	0.32	18.0bcd
DSH <sub>0.0</sub>	5733	19.7	4009.4	1150.5	0.049	0.16	7.9
Prob. F.	0.028	<0.01	<0.01	<0.01	0.217	0.1098	<0.01
C.V. (%)	5.03	4.6	38.299	14.05	27.458	23.77	23.46

1) Ver descripción de tratamientos en el Cuadro 1.

tratamientos de aquél establecido en el Andosol de Cuangatzio, Michoacán, y descritos en el Cuadro 1. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 3. Puede observarse que la densidad de población en este experimento estuvo cercana al óptimo y bastante uniforme en todos los tratamientos, excepto en el testigo, donde la falta de fósforo redujo la población. Los rendimientos de grano y rastrojo fueron muy superiores a los obtenidos en Cuangatzio. La dosis y fuente de fósforo tuvo influencia sobre la altura de las plantas, los rendimientos de rastrojo y grano, y el fósforo absorbido por el cultivo. Los más altos valores en estos cuatro conceptos correspondieron a la aplicación de la máxima dosis de superfosfato triple y los más bajos al testigo.

La EAR en fósforo absorbido por el cultivo con la dosis  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , que es donde se espera el máximo contraste entre fuentes, fue de 40.5, 57.8 y 46.3% para la RFBC gruesa, fina y fina más azufre, respectivamente. Aun cuando no hubo diferencia estadística entre esos valores, se advierte la tendencia a una supremacía del superfosfato triple sobre la roca fosfórica fina y de ésta sobre la roca gruesa, sin efecto favorable del azufre agregado a la roca fina. Al igual que en años anteriores, en este sitio no se detectó respuesta favorable a la adición de azufre elemental debido tal vez a la de por sí elevada acidez de este suelo; por el contrario y al igual que en Cuangatzio, la molienda fina de la RFBC resulta recomendable para elevar su eficiencia.

#### EXPERIMENTO DE INVERNADERO EN ANDOSOL

Como complemento al experimento de campo en Cuangatzio, se desarrolló un trabajo de invernadero con ese mismo suelo, en el que se probaron tres tamaños de partícula (-35+100; -100+200 y -200 mallas U.S. Standard) tanto en RFBC como con roca fosfórica de Carolina del Norte (RFCN). Además, se evaluó el efecto de la adición de azufre o zeolita como activadores de las rocas fosfóricas. Este trabajo constituyó una tesis de grado, por lo que puede consultarse dicho documento para una información más amplia de los resultados obtenidos (De Gracia, 1992). Aquí únicamente se muestran los datos del Cuadro 4, donde puede observarse el efecto diferencial del azufre y la zeolita, dependiendo del tamaño de partícula de la RFBC

al cual se aplican. El azufre favoreció la eficiencia de la RFBC en tamaño grueso (-35+100 mallas), mientras que la zeolita favoreció la eficiencia de la RFBC en su granulometría más fina.

Cuadro 4. Rendimientos de materia seca de *Lolium perenne* fertilizado con RFBC en tres tamaños de partícula, adicionada de azufre elemental o zeolita (De Gracia, 1992).

Aditivo	Tamaño partícula de RFBC <sup>1)</sup>			$\bar{x}$
	-35+100	-100+200	-200	
	----- g/maceta -----			
Asufre	37.3 ab <sup>2)</sup>	35.7 abc	30.8 c	34.6 p
Zeolita	30.7 c	33.9 abc	38.2 a	34.3 p
Ninguno	30.9 bc	33.7 abc	31.5 c	33.5 q
$\bar{x}$	33.5 p	34.5 p	33.5 p	

1) No. de malla en tamis U.S. Standard

2) abc para significancia de interacciones; p y q para significancia de efectos principales.

RFBC = Roca fosfórica de Baja California.

#### EXPERIMENTO DE INVERNADERO EN ARIDISOL

El suelo utilizado en este ensayo fue un Aridisol proveniente de Caborca, Sonora, con un pH de 8.1 y un contenido de 9.4 ppm de P extraíble por el método Olsen. Se ensayaron las adiciones de RFBC y RFCN complementadas con azufre, zeolita natural, zeolita amoniacal o estiércol porcino en comparación con superfosfato triple. El estudio tuvo por objeto evaluar la factibilidad práctica y económica de utilizar roca fosfórica como fuente de fósforo en un suelo de pH elevado, tratando de contrarrestar la alcalinidad con los aditivos señalados. La EAR de la RFBC y RFCN fue del orden de 36.5 y 18.9%, respectivamente, evaluada en el rendimiento de materia seca de *Lolium perenne*. Ninguno de los aditivos modificó la eficiencia de las rocas fosfóricas como abastecedoras de fósforo en este suelo alcalino. El trabajo constituyó una tesis de grado (Limón, 1992), la cual puede consultarse para mayor información.

#### CONCLUSIONES

De los trabajos aquí presentados se derivan las siguientes conclusiones:



1. En un régimen de humedad aceptable en el Andosol, la aplicación de roca fosfórica de Baja California constituye una alternativa económica viable por su más bajo costo y una eficiencia agronómica comparable al superfosfato triple. Es necesario, sin embargo, que el material esté molido para pasar el tamiz de 100 mallas U.S. Standard. La adición de azufre no mostró efecto benéfico.
2. Con restricción de humedad y una densidad de población escasa en el Andosol, la eficiencia agronómica relativa de la roca fosfórica se redujo marcadamente en comparación con el superfosfato triple, sin efecto favorable del azufre elemental. En esta situación no se justifica la aplicación de roca fosfórica ni aun finamente molida. Los resultados obtenidos a través de varios años, revelan un escaso o nulo efecto residual tanto del superfosfato como de la roca fosfórica en el Andosol.
3. La zeolita elevó la eficiencia de la roca fosfórica de Baja California finamente molida; en cambio la adición de azufre favoreció a la roca fosfórica de mayor

granulometría en el estudio de invernadero con *Lolium perenne* desarrollado en el Andosol.

4. En el Aridisol alcalino, las rocas fosfóricas de Baja California y de Carolina del Norte tuvieron una eficiencia agronómica tan baja que no justifica su utilización ni aun con el empleo de aditivos como azufre, zeolita o estiércol porcino.

#### LITERATURA CITADA

- BARBARICK, K.A., T.M. LAI, and D.D. EBERL. 1990. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum sudangrass. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 54:911-916.
- DE GRACIA De L., R.G. 1992. Evaluación de dos rocas fosfóricas con tres tamaños de partícula, adicionadas de azufre o zeolita en un andosol de Michoacán, México. Tesis de M.C. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- LIMON G., J.F. 1992. La fertilidad de un aridisol del estado de Sonora, influenciada por zeolitas, rocas fosfóricas y abono orgánico. Tesis de M.C. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- NUNEZ E., R. y F. GAVI R. 1991. Avances de las investigaciones sobre aplicación directa de roca fosfórica en México. *Revista de la Facultad de Agronomía, (U.C.V. Maracay, Venezuela)*. 17: 197-216.

**ACCION ACONDICIONANTE DE LA ROCA FOSFATICA DE MONTE FRESCO, VENEZUELA, Y LA SORCION DE FOSFORO DE UN SUELO ACIDO**

Conditioning Action of Monte Fresco, Venezuela Phosphate Rock and Phosphorus Sorption of an Acid Soil

Osmar Issa, Rogelio Rodriguez, Silvia Furnari y Fernando Morales

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Procesos y Sistemas, Apartado Postal 89000, Caracas, Venezuela

*Palabras clave:* Isotermas de sorción, Encalado, pH.

*Index words:* Sorption isotherms, Liming, pH.

**RESUMEN**

En este experimento se compararon tres fuentes de suministro de fósforo: superfosfato triple (SFT), roca fosfática de Monte Fresco (RF) y la misma roca parcialmente acidulada (RFPA), hasta 60% para la obtención de superfosfato simple. Para los ensayos de este trabajo se utilizó un suelo ácido (pH 4.6 en agua), predominantemente arenoso, proveniente de la zona oriental del país, con bajos contenidos de materia orgánica y fósforo disponible ( $1.8 \mu\text{g g}^{-1}$ ), baja capacidad de intercambio catiónico efectiva y 36.2% de saturación de aluminio. La roca fosfórica sin previo tratamiento presentó un efecto de encalado que eliminó el aluminio cambiante presente y, si bien no produjo un incremento en el valor del pH, con su aplicación se obtuvieron valores más altos de éste que con las otras dos fuentes de fósforo.

Recibido 5-94.

**SUMMARY**

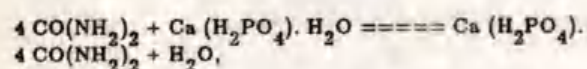
Three phosphorus sources were compared experimentally; triple superphosphate (SFT), phosphate rock from Monte Fresco (RF) and the same rock, partially acidulated (RFPA) up to 60% of the acid required to obtain single superphosphate. An acid soil was utilized (pH 4.6 in water), mainly sandy, from the east zone of the country, with low organic matter and available phosphorus ( $1.8 \mu\text{g g}^{-1}$ ) contents, low effective cation exchange capacity and 36.2% aluminum saturation. Raw phosphate rock exhibited a liming effect which eliminated the exchangeable aluminum present; although it did not raise the pH value, higher pH values were obtained with RF application than with the other two phosphorus sources.

**INTRODUCCION**

La roca fosfática puede representar un insumo económico para el suministro de fósforo para la agricultura. Las principales vías para su utilización son dos: por aplicación directa al suelo, con o sin tratamiento previo, y por su inclusión en la preparación de fertilizantes terminados con otros nutrientes fundamentales: nitrógeno y potasio. Esto último se está intentando en laboratorio

con la roca fosfática proveniente de Monte Fresco, en el estado andino de Táchira, Venezuela.

El contenido de  $P_2O_5$  en la roca fosfática (Black, 1965) nos indujo a utilizar fuentes concentradas de nitrógeno y potasio. La utilización de urea, KCl y superfosfato triple (SFT) como complemento necesario, produjo la liberación de agua de cristalización (Covenin, 1977) de acuerdo con:



por lo que fue obtenida una mezcla de muy difícil manejo para su posterior granulación. Se ha continuado entonces en la línea de solución del problema, pero se plantea, además, la utilización de la roca fosfática sin tratamiento previo en el "acondicionamiento" de un suelo ácido de muy baja fertilidad natural, pues se estima que uno de los valores fundamentales de la roca fosfática es precisamente su efecto como fertilizante de acción controlada (Issa, 1989).

Se compararon tres fuentes de suministro de fósforo: superfosfato triple (SFT), la roca fosfática de Monte Fresco (RF) sin tratamiento previo y la roca fosfática parcialmente acidulada (RFPA) hasta 60% (I.F.D.C., 1986) para producción de superfosfato simple.

Se siguió el cambio con el tiempo de la sorción de fósforo del suelo, su disponibilidad y otros factores de interés en esta evaluación comparativa.

## MATERIALES Y METODOS

Para los ensayos de este trabajo se utilizó un suelo ácido (pH 4.6 en agua), predominantemente arenoso, proveniente de la zona oriental de Venezuela, con bajo contenido de materia orgánica y fósforo disponible ( $1.8 \text{ mg g}^{-1}$ ), baja capacidad de intercambio catiónico efectiva y 36.2% de saturación de aluminio. Estas condiciones lo hacen muy funcional para estimar la potencialidad que puedan tener como fertilizantes diferentes fuentes de fósforo. A las muestras de suelo se les añadió fósforo suministrado en tres diferentes formas: superfosfato triple (SFT), roca fosfática de Monte Fresco (RF) y roca fosfática parcialmente acidulada (RFPA)

(I.F.D.C., 1986) hasta 60% para obtención de SFS. Para RF y RFPA la aplicación fue de  $40 \text{ } \mu\text{g}$  por gramo de suelo, mientras que para SFT se añadió la cantidad que corresponde a la misma concentración de fósforo soluble encontrada en la RFPA.

Se prepararon muestras de 500 gramos de suelo en cantidad suficiente para observar los cambios que pudieran producir sobre la sorción de fósforo las siguientes variables: a) la fuente de suministro del nutrimento; b) la adición de caliza agrícola (se utilizaron muestras sin encalar y con caliza añadida en cantidad suficiente para neutralizar el aluminio cambiante presente inicialmente en el suelo); c) adición simultánea y no simultánea del agente de encalado y la fuente de suministro del fósforo (cuando la adición no fue simultánea, el fósforo se añadió 30 días después de que el suelo fue mezclado con el agente de encalado); y d) el tiempo de incubación o de contacto (hasta seis meses) entre los componentes del sistema.

Las muestras fueron humedecidas a un valor aproximado al de la capacidad de campo del suelo, y su peso fue observado periódicamente con el fin de reponer el agua perdida por evaporación. A diferentes intervalos de tiempo se evaluó la sorción de fósforo a través de isotermas obtenidas en soluciones soporte que reflejan la composición iónica de la solución de suelo (Issa, 1978; Ponnampertuma *et al.*, 1966), en el intervalo de adición de 0 a  $100 \text{ } \mu\text{g P g}^{-1}$  suelo. Igualmente se midió el cambio con el tiempo del nivel de fósforo disponible, el pH y la concentración de aluminio cambiante. Para ello fueron utilizados los métodos analíticos reportados por (Black 1965; Chien y Hammond, 1978; Covenin, 1977). Toda la experimentación se llevó a cabo a temperatura ambiente ( $26 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

## RESULTADOS

### Cambios en la sorción de fósforo del suelo

El suelo utilizado en el presente trabajo presentó una elevada capacidad de sorción de fósforo, que necesariamente está asociada a sitios de alta afinidad por el nutrimento. Estas características permiten que dicho suelo sea adecuado para estimar la posible acción de la fertilización con las fuentes probadas en este estudio.

Una medida potencialmente indicadora de la capacidad fertilizante de diferentes fuentes de suministro de fósforo son las isotermas de sorción, obtenidas en condiciones de fuerza iónica tan parecidas como sea posible a las de la solución del suelo bajo estudio (Issa, 1978; Ponnampetuma *et al.*, 1966).

Las Figuras 1 y 2 muestran el cambio que ocurrió con el tiempo en la sorción de fósforo del suelo. La Figura 1 se refiere a la adición simultánea del agente encalante y la fuente de suministro de fósforo; la Figura 2 se refiere a la adición no simultánea.

La elevada capacidad de sorción que presentó el suelo por el nutriente provocó que las diferencias en la concentración de

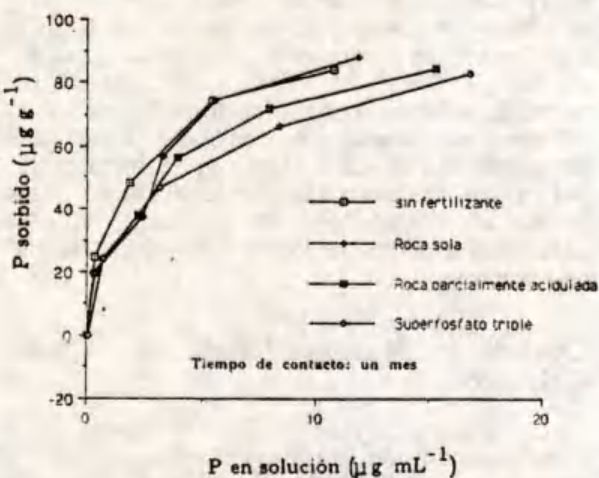
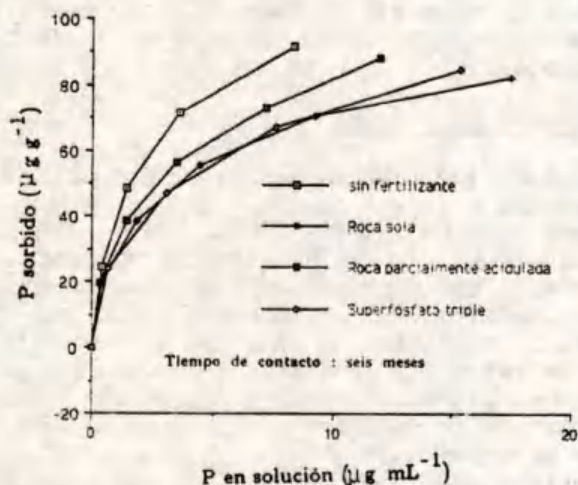


Figura 1. Isotermas de sorción. Adición simultánea de la fuente de suministro de fósforo y el agente de encalado.

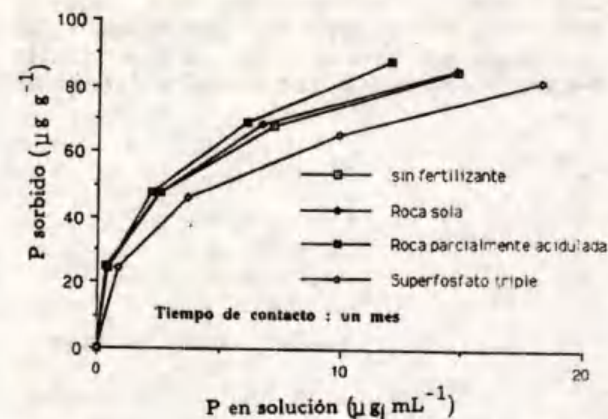


Figura 2. Isotermas de sorción. Adición no simultánea de la fuente de suministro de fósforo y el agente de encalado.

fósforo en solución sean pequeñas respecto a la cantidad sorbida. Sin embargo, fue consistente el cambio de posición que experimentó con el tiempo la isoterma correspondiente a la roca fosfática de Monte Fresco (RF) sin tratamiento previo. Su acción después de seis meses, independientemente del tratamiento de encalado, es comparable con la del superfosfato triple (SFT), fuente que es considerablemente más soluble y costosa. En cualquier caso los sitios de alta energía de sorción del nutriente son satisfechos. Esto es de importancia, particularmente en el caso de RF, pues el acondicionamiento del suelo con un material de bajo costo permitiría la aplicación posterior de fertilizantes más solubles que, indudablemente, serían mucho más eficientes. La conveniencia está fundamentada en la cobertura de los sitios de alta energía

de sorción con un insumo de bajo costo que evitaria la sorción irreversible del nutrimento cuando sea añadido (a través de fertilizantes más solubles y costosos) a suelos, como el estudiado, de baja fertilidad natural.

### Concentración de fósforo disponible

La Figura 3 muestra la variación con el tiempo de la concentración de fósforo disponible. La adición inicial del nutrimento fue realizada de la misma manera como ya se mencionó para RF, RFPA y SFT. Una vez más se hizo evidente la alta capacidad de sorción de fósforo por el suelo utilizado, la cual pudiera ser mayor de 70% del que se añadió inicialmente. Es posible que una fracción alta del fósforo sorbido quede irreversiblemente retenida, dependiendo del mecanismo que haya ocurrido. Se observa en la Figura 3 que la RF fue la única fuente de

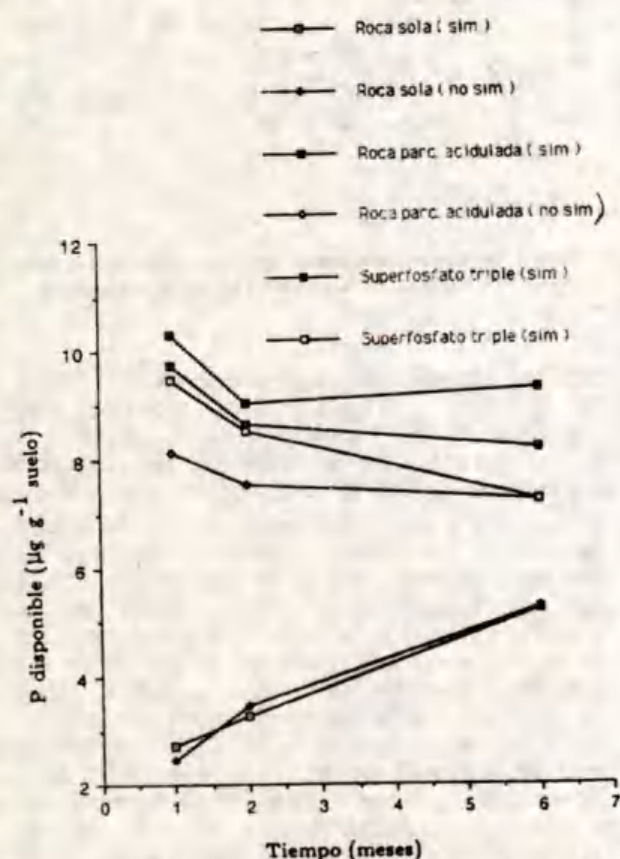


Figura 3. Variación con el tiempo de la concentración de fósforo disponible.

suministro de fósforo que mostró un incremento claro de la disponibilidad del nutrimento con el transcurso del tiempo. Este hecho está justificado en la baja velocidad de solubilización de la fracción que contiene fósforo en la RF. Parece existir una tendencia a alcanzar, independientemente de la fuente de suministro utilizada, un cierto nivel de concentración de fósforo disponible, que debe estar determinado por el mecanismo que esté ocurriendo. Uno de ellos puede ser el de precipitación de algún fosfato poco soluble y sería entonces la solubilidad de este o estos compuestos la que determinaría el nivel de fósforo disponible a alcanzar. Con base en isotermas de solubilidad y en las concentraciones de cationes en solución se trata de establecer cuál o cuáles fosfatos (de calcio, aluminio o hierro) pueden estar dominando la concentración de fósforo disponible.

### Efectos del encalado

En la Figura 4 se muestran las isotermas de sorción (seis meses de contacto) correspondientes a RF, RFPA y SFT (adición simultánea o no con el agente de encalado) y aquéllas que corresponden a las muestras que no fueron encaladas. Con el SFT y la RFPA, el efecto mejorador del encalado, en lo que a concentración de fósforo en solución se refiere, pareció estar presente. Las concentraciones de fósforo fueron un poco más altas en solución para el mismo valor de fósforo sorbido en los casos de las muestras encaladas. Menos apreciable fue la diferencia entre las isotermas correspondientes a la adición simultánea o no del agente de encalado y la fuente de suministro de fósforo. Para RF no se presentó el efecto del agente de encalado sobre la concentración de fósforo en solución en ninguno de los casos mostrados. En cierto modo, este hecho es la implicación del valor o propiedad intrínseca de la RF como agente de encalado. Los resultados que se presentan a continuación tienden a corroborar este aspecto.

### Cambios en la concentración de aluminio cambiante

La Figura 5 muestra la variación de la concentración de aluminio cambiante con el tiempo, tanto para las muestras encaladas como para aquellas en las que no se añadió agente de encalado. En todos los casos, el agente de encalado fue añadido en cantidad suficiente

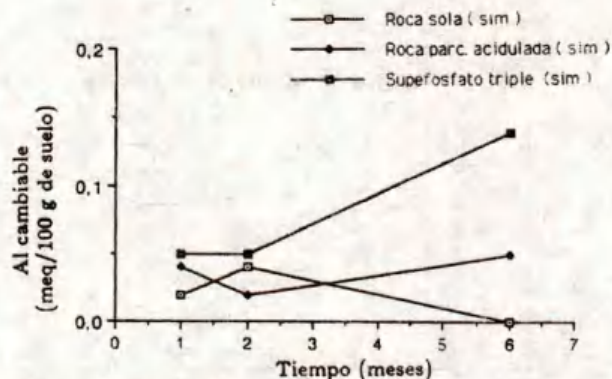
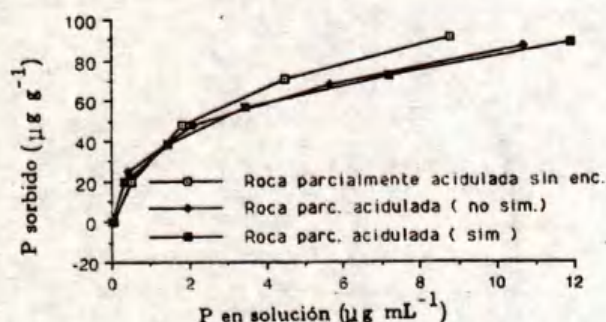
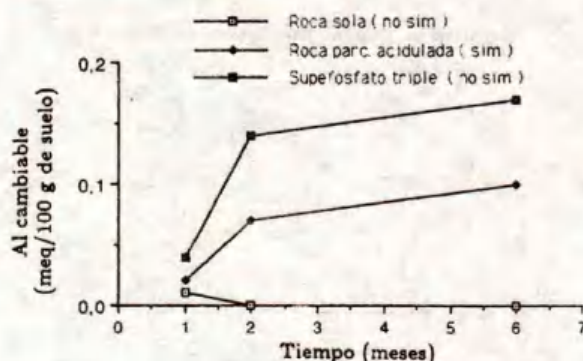
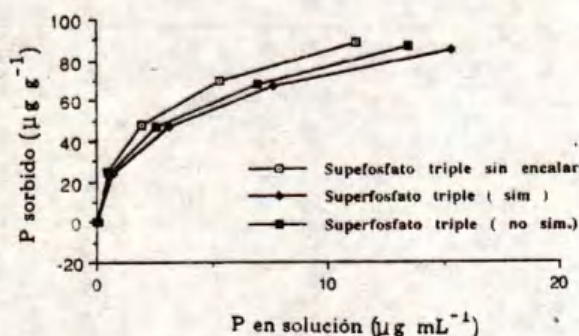
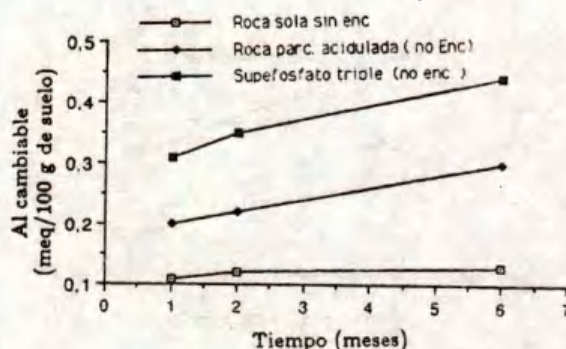
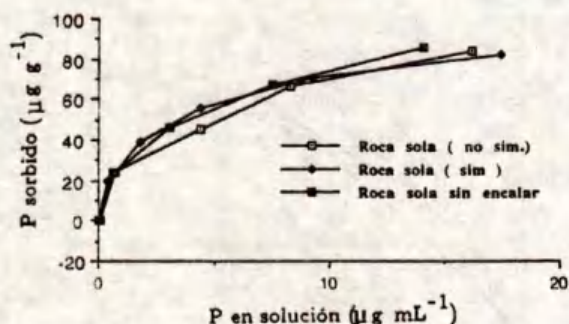


Figura 4. Efecto del encalado. Tiempo de contacto: seis meses.

Figura 5. Variación de la concentración de aluminio cambiante con el tiempo.

para eliminar el aluminio cambiante inicialmente presente (0.56 meq/100 g suelo).

En efecto, la propiedad intrínseca de agente de encalado de RF fue evidente, lo que la coloca en posición ventajosa frente a las otras fuentes de suministro de fósforo probadas en el presente trabajo. La cantidad de aluminio cambiante presente se redujo en todos los casos cuando la fuente de suministro fue RF.

### pH del suelo

La Figura 6 muestra la variación del pH del suelo con el tiempo y con los diferentes tratamientos y fuentes de suministro de fósforo. Aunque relativamente bajos, los valores más altos de pH fueron obtenidos cuando la fuente de suministro de fósforo fue RF.

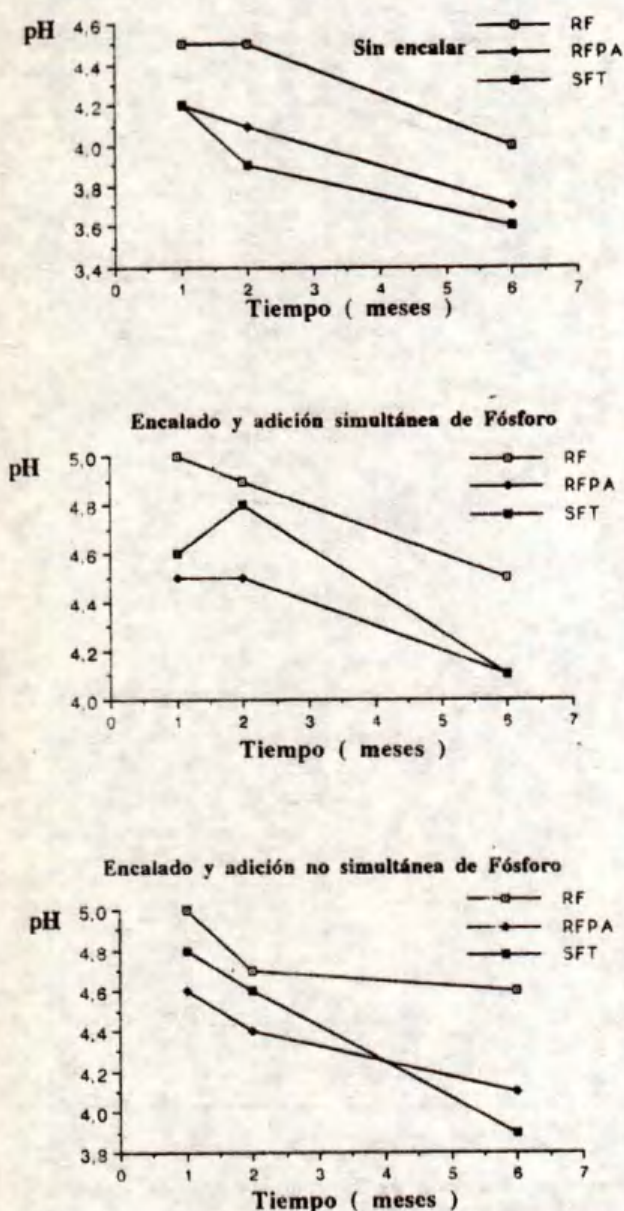


Figura 6. Variación del pH del suelo con el tiempo.

#### Oportunidad de adición del agente de encalado y la fuente de suministro de fósforo

La Figura 7 muestra el efecto de la simultaneidad o no de la adición del agente encalante y la fuente de suministro de fósforo entre RF y SFT. Se puede observar que no existe una tendencia clara que permita hacer alguna afirmación sobre diferencias que puedan producirse respecto a la concentración de

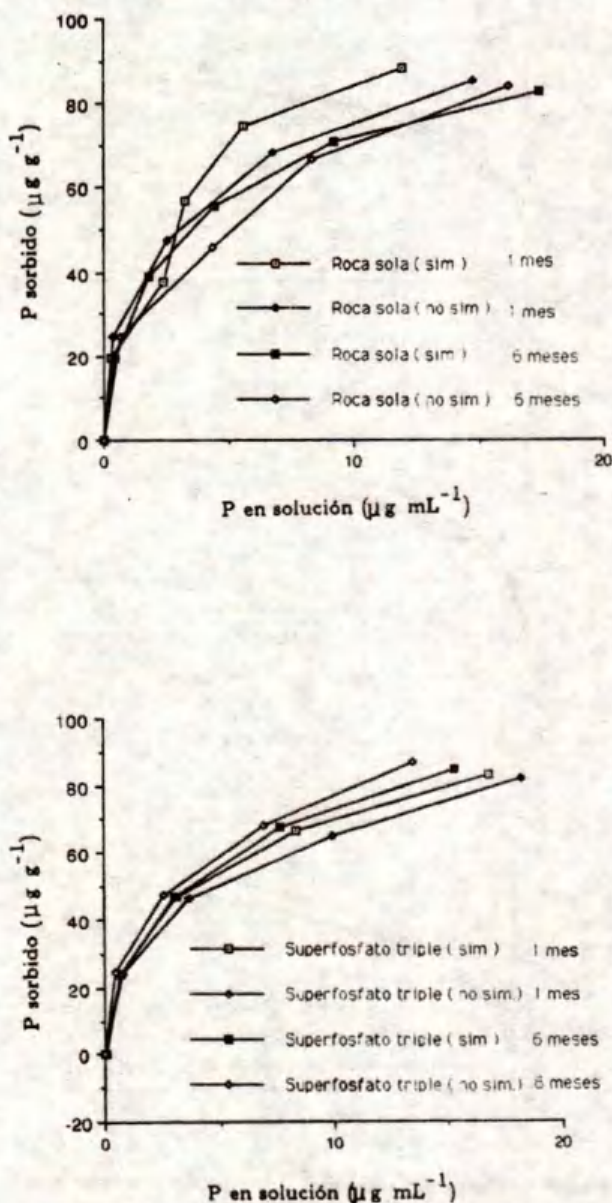


Figura 7. Efecto de la simultaneidad o no de la adición de fósforo y el agente de encalado.

fósforo en solución por la adición simultánea o no de los materiales señalados. Probablemente este hecho estuvo influenciado por las características muy particulares del suelo utilizado para este estudio.

#### CONCLUSIONES

Los resultados aquí mostrados permiten concluir que:

1. No obstante que la roca fosfática de Monte Fresco no es una fuente de suministro inmediato de fósforo, el efecto del tiempo la favorece para satisfacer con el nutrimento los sitios de alta energía de sorción y dejar al suelo ácido "acondicionado" para recibir posteriormente fuentes solubles de fósforo. De esta manera se reduce la sorción irreversible del nutrimento y el fertilizante soluble, de mayor costo, puede ser más eficientemente utilizado.
2. La roca fosfática sin tratamiento previo presentó un efecto intrínseco de encalado al eliminar el aluminio cambiante presente y, si bien no produjo un incremento en el valor del pH, con su aplicación se obtuvieron valores más altos que con las otras dos fuentes de fósforo.
3. Posiblemente por las particularidades del suelo utilizado, no se reflejan tendencias claras que permitan diferenciar entre la simultaneidad o no de adición del agente de encalado y la fuente de suministro de fósforo.

En resumen, se estima que los resultados mostraron consistencia, pues, desde diferentes puntos de vista y análisis, la roca fosfática sin tratamiento previo, al pasar el tiempo de aplicación al suelo mostró ventajas sobre las

otras dos fuentes de suministro de fósforo probadas. La roca como acondicionante de suelos ácidos de baja fertilidad natural puede hacer considerablemente más racional y, por lo tanto, más económico el uso de fertilizantes fosfatados altamente solubles.

## REFERENCIAS

- BLACK, C. (ed.). 1965. *Methods of soil analysis*. Part II. Monograph No. 9 American Society of Agronomy. Wisconsin. USA.
- CHIEN S.H., and L.L. HAMMOND. 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomical potential of phosphate of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 935-939.
- COVENIN. 1977. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Normas 1130, 1131 y 1132: determinación del fósforo total, fósforo soluble en citrato y fósforo soluble en agua respectivamente.
- I.F.D.C. 1986. Sulfuric acid based partially acidulated phosphate rocks. Its production cost and use. Publication of the International Fertilizer Development Center. Muscle Shoals. Alabama. USA.
- ISSA, O. 1978. Some factors affecting the orthophosphate equilibria in agricultural drainage waters. Ph.D. Thesis. Oxford University. England.
- ISSA, O. 1989. Proyecto PC - 136. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Venezuela.
- PONNAMPERUMA, F.N., E.M. TIANCO, and T.A. LOY. 1966. Ionic strengths of the solutions of flooded soils and other natural aqueous solutions from specific conductance. *Soil Sci.* 102: 493-497.



**EFFECTO DE LA APLICACION DE LA ROCA FOSFORICA MONTE FRESCO NATURAL Y MODIFICADA SOBRE ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL SUELO Y DESARROLLO DE CULTIVOS**

Effect of the Application of Monte Fresco Phosphate Rock, Natural and Modified, on Some Soil Chemical Characteristics and Crop Development

María Juana Pérez y Antonio Díaz

IIAG-CENIAP, Maracay, Aragua, Venezuela.

Estación Experimental Barinas. Barinas, Venezuela.

*Palabras clave:* *Thiobacillus thiooxidans*, Azufre, Pasto *Stylosanthes*, Maíz.

*Index words:* *Thiobacillus thiooxidans*, Sulphur, *Stylosanthes* grass, Corn.

suelo. La roca MF mejoró algunas características químicas del suelo, mientras que el PHS incrementó considerablemente el contenido de azufre extraíble en el suelo.

**RESUMEN**

Generalmente los suelos venezolanos se caracterizan por la baja disponibilidad de fósforo para las plantas, asociada a otras propiedades químicas del suelo, las cuales constituyen un factor desfavorable para el buen desarrollo de los cultivos. Este estudio se realizó con el objeto de evaluar el efecto de la aplicación de la roca fosfórica Monte Fresco natural (MF) y la roca fosfórica Monte Fresco tratada con S elemental más bacterias thiooxidantes (PHS), sobre las características químicas del suelo y su repercusión sobre el desarrollo de algunos cultivos. Se utilizaron cuatro suelos ácidos con diferentes características químicas y textura, en los cuales se probó, a nivel de laboratorio, invernadero y campo, el efecto de la aplicación de 100 y 200 ppm de P (en laboratorio e invernadero) y 25, 50 y 100 ppm de  $P_2O_5$  (en campo). Los resultados obtenidos indican que no existe diferencia significativa entre los tratamientos con la roca MF y el PHS en cuanto a la disponibilidad de P en el

Recibido 5-94.

**SUMMARY**

Venezuela soils are characterized by a generally low phosphorus availability for the plants, associated with other chemical properties, which constitute an unfavorable factor for a good crop development. This study was conducted in order to evaluate the effect of applying phosphate rock from Monte Fresco, alone (MF) or treated with elemental sulphur plus thiooxidant bacteria (PHS), upon the chemical characteristics of the soil and its effect on the development of some crops. Four acid soils differing on their chemical and textural characteristics were used under laboratory, green house and field conditions, in order to test the effect of the application of 100 and 200 ppm P (in laboratory and greenhouse), and 25, 50, and 100 ppm  $P_2O_5$  (in the field). The results obtained indicate that there is not significant difference between MF and PHS treatments in reference to P availability in the soil. MF rock improved some chemical characteristics of the soil, whereas PHS considerably increased the amount of sulphur extractable from the soil.

## INTRODUCCION

La limitante más generalizada en la fertilidad de los suelos venezolanos es la baja disponibilidad de fósforo para las plantas, asociada ésta a otras características químicas del suelo desfavorables para el buen desarrollo de los cultivos. Para suplir las altas demandas de este elemento en el sector agrícola, el país invierte anualmente millones de dólares en la importación de fertilizantes fosfatados. Paradójicamente, en Venezuela yacen cuantiosas reservas de fosfatos naturales que pudieran ser utilizadas en la agricultura y así disminuir, por lo menos parcialmente, la importación de fertilizantes fosfatados.

Diversos estudios han demostrado la habilidad de algunos microorganismos del suelo para solubilizar las rocas fosfóricas (Gaus; Sualoy y Fedel, citados por Muchovej *et al.*, 1989). La microbiota del suelo incluye organismos quimioautótrofos capaces de oxidar el S a partir de formas más reducidas, causando la acidificación del suelo. Una especie común en este grupo es el *Thiobacillus thiooxidans*. Para el crecimiento de estos organismos se requiere la presencia de una fuente de S oxidable en el suelo, y la acidificación resultante puede causar la solubilización de roca fosfórica. La aplicación de roca fosfórica pretratada con S, a la cual se le ha incorporado el thiobacilo (para asegurar la presencia de este thiooxidante en el suelo), podría ser una manera de incrementar la solubilidad de la roca fosfórica, mejorando así su capacidad de liberación de fósforo al suelo, y por lo tanto podría sustituir parcialmente la utilización de fertilizantes fosfatados de alta solubilidad en la agricultura nacional, con la consecuente disminución en la fuga de divisas del país, por la importación de estos insumos.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación de la roca fosfórica Monte Fresco natural (MF) y tratada con S elemental + bacterias thiooxidantes (PHS), sobre la disponibilidad de P en el suelo y otras características químicas del suelo, así como la repercusión de estos cambios sobre el desarrollo de cultivos en suelos de características químicas y textura diferentes.

## MATERIALES Y METODOS

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las características químicas del suelo, se usaron cuatro suelos ácidos, con bajo a bajo-mediano contenido de fósforo disponible, y diferentes en otras características químicas (Cuadro 1), provenientes de diferentes regiones de importancia agrícola en el país: suelo de Barinas, ubicado en la serie Barinas, dedicado al cultivo de maíz y pastos, en el estado de Barinas; suelo de La Iguana, ubicado en sabanas al sur-oriente del estado de Guárico; suelo de Bramón, ubicado en la zona alta cafetalera del estado de Táchira y el suelo de Upata, ubicado al nor-oriente del estado de Bolívar, dedicado al cultivo de pastos y producción ganadera.

El estudio se llevó a cabo en tres etapas: ensayos de incubación en laboratorio, ensayos de invernadero y ensayo de campo. Los ensayos de laboratorio consistieron en incubar los suelos (150 g/pote), con dosis equivalentes de 0, 100 y 200 ppm de P de la roca fosfórica Monte Fresco (MF), roca fosfórica Monte Fresco tratada con S elemental + bacterias thiooxidantes (PHS); se usó el superfosfato triple (SFT) como referencia de fosfato altamente soluble. Se establecieron tres repeticiones por tratamiento y se incubaron por un período de tres meses a  $\pm 30^\circ\text{C}$ , con 10 a 30% de humedad. Se evaluaron los cambios producidos por los tratamientos en pH, P disponible, S-SO<sub>4</sub> extraíble, Ca y Al intercambiable y la relación Ca: Mg. La disponibilidad de fósforo se determinó por los métodos de extracción Olsen, Bray-1 y Olsen-Dabin, sin embargo, en este trabajo se informan los resultados obtenidos con el método Olsen.

En los ensayos de invernadero se evaluó el efecto de los cambios químicos producidos por los tratamientos mencionados anteriormente sobre el desarrollo del pasto *Stylosanthes* (var. Capitata en los suelos de Barinas y La Iguana, y var. Hamata en los suelos de Upata y Bramón). Se utilizó un diseño experimental totalmente aleatorizado con cinco repeticiones por tratamiento y se realizaron tres cortes consecutivos del pasto para determinar el efecto residual de los fosfatos evaluados. Se utilizaron potes con tres kilogramos de suelo en los cuales se aplicaron los tratamientos utilizados en los ensayos de laboratorio y se

Cuadro 1. Principales características físicas y químicas de los suelos.

Suelo	pH 1:2.5 H <sub>2</sub> O	P		S-SO <sub>4</sub>	Cationes intercambiables					
		Olsen	Bray-1		Ca	Mg	K	Na	Al	H
		----- ppm -----			----- meq 100 g <sup>-1</sup> -----					
Barinas	5.2	5	2	10	3.23	2.15	0.12	0.07	0.02	0.03
Iguana	4.7	5	1	7	0.79	1.99	0.11	0.19	2.30	0.29
Upata	5.2	12	14	9	0.71	0.32	0.06	0.03	0.00	0.01
Bramón	3.9	11	9	24	0.46	0.19	0.13	0.02	1.70	0.55

Cuadro 1. Continuación.

Suelo	Mat. org.	Sat. bases	Sat. Al	Arcilla	Capac. retención fósforo	Textura
----- % -----						
Barinas	3.32	92	0.3	23.6	Mediana	FAa
Iguana	1.02	53	40	61.4	Muy alta	A
Upata	0.82	86	0	7.1	Muy baja	a
Bramón	2.54	24	40	28.4	Mediana alta	FA

FAa = Franco-arcillo-arenosa; A = Arcillosa; a = arenosa; FA = Franco-arcillosa.

incubaron, a capacidad de campo, por dos meses en condiciones de invernadero. La siembra se realizó luego de preparar nuevamente los suelos y tomar muestras para análisis químicos. Se aplicó fertilización básica y reabono con N con soluciones nutritivas después de cada corte. En cada cosecha se determinó la producción de materia seca, P total extraído por el cultivo, así como otros parámetros nutricionales del cultivo que no se discutirán en este trabajo. En el ensayo de campo se evaluaron los fosfatos en laboratorio e invernadero, en dosis equivalentes a 0, 75, 150 y 300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Se utilizó un diseño experimental factorial 4 x 3 (cuatro dosis x tres fosfatos) totalmente aleatorizados con cuatro repeticiones. Este ensayo se estableció en el suelo de Barinas, el que se venía evaluando en los ensayos anteriores y se utilizó maíz (*Zea mays* L.) var. PB-8, como cultivo indicador. Se aplicó fertilización básica, de acuerdo con los análisis de suelo realizados, y en función de la humedad suplida por las precipitaciones en la estación lluviosa de la zona (año excepcionalmente seco). Durante la etapa de espigamiento (formación de barbas del cultivo), se realizó un muestreo de suelo,

para determinar pH, P disponible, S-SO<sub>4</sub> extraíble y Ca intercambiable, y de planta, para estimar el contenido de P y S, y relacionar estos valores con los rendimientos de grano obtenidos al final del ciclo del cultivo.

Se realizó un análisis de varianza por efectos individuales de tratamientos, suelos y sus interacciones. Se aplicó la prueba de medias de rango múltiple de Duncan, para separar los efectos de los tratamientos sobre la producción (materia seca en el pasto *Stylosanthes* y rendimiento de grano en el maíz) y el P en la planta.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 2 y 3, se presentan las tendencias de los efectos de la aplicación de 100 ppm de P en forma de MF, PHS y SFT, sobre el pH, Ca y Al intercambiable, relación Ca:Mg, P disponible y S-SO<sub>4</sub> extraíble, en los diferentes suelos utilizados. A pesar de no haber un efecto significativo de los tratamientos sobre el pH del suelo, se puede observar un ligero aumento del pH en el

tratamiento con MF en relación con el testigo en todos los suelos (Cuadro 2). Este efecto fue más pronunciado en el suelo de Upata, que es un suelo arenoso con baja capacidad amortiguadora. Los tratamientos con el producto PHS no disminuyeron significativamente el pH de estos suelos; se esperaba que con los altos contenidos de azufre (125 ppm) incorporado con la dosis de PHS utilizada y la acción del *Thiobacillus* contenido en el producto, se pudiera acidificar significativamente el suelo y así incrementar la liberación de P de este material. Estos resultados no coinciden con los encontrados por Muchovej *et al.* (1989), quienes señalan que la adición de S elemental y *T. thiooxidans* a la roca fosfórica Araxa, causó un drástico y pronunciado declive en el pH de un Oxisol de Brasil, con un consecuente incremento en los niveles de P del suelo. De igual manera, se observó un ligero aumento en los contenidos de Ca intercambiable en los suelos, por efecto de los fosfatos evaluados

en relación con los testigos (Cuadro 2). Este incremento fue mayor en los tratamientos con MF y a la vez mayor en los suelos con mayor contenido de Al intercambiable y menor contenido de Ca intercambiable, en los que se lograron incrementos en 132, 113, 50 y 21% del Ca intercambiable en relación con el testigo de los suelos de La Iguana, Bramón, Upata y Barinas, respectivamente.

En el Cuadro 2 se puede observar que en los suelos con altos contenidos de Al intercambiable hubo un efecto significativo de la roca MF en la disminución del Al intercambiable, se logró disminuir estos valores en 30 y 25% en relación con el testigo de los suelos de La Iguana y Bramón, respectivamente, lo cual se relaciona con los más altos incrementos en Ca intercambiable de estos dos suelos por efecto de la roca MF, mientras que no hubo cambios por efecto del tratamiento con el PHS.

Cuadro 2. Efecto de las fuentes de fósforo en el pH, Al y Ca intercambiables de los suelos estudiados.

Suelo	Testigo			Roca fosfórica Monte Fresco			Roca fosfórica tratada <sup>z</sup>			Superfosfato triple		
	pH	Al	Ca	pH	Al	Ca	pH	Al	Ca	pH	Al	Ca
----- meq 100 g <sup>-1</sup> -----												
Barinas	4.7	0.16	3.4	4.9	0.08	4.1	4.4	0.20	3.7	4.7	0.12	3.6
La Iguana	4.3	2.0	0.8	4.6	1.30	1.9	4.2	2.00	1.4	4.7	1.80	1.2
Upata	4.3	0.08	0.8	5.1	0.04	1.2	4.3	0.12	1.8	4.8	0.05	1.1
Bramón	4.0	1.25	0.5	4.2	0.90	1.2	3.9	1.20	0.7	4.0	1.05	0.8

z) Roca fosfórica Monte Fresco + azufre + bacterias thiooxidantes.

Cuadro 3. Efecto de las fuentes de fósforo en la relación Ca/Mg, y el P y S disponible en los suelos estudiados.

Suelo	Testigo			Roca fosfórica Monte Fresco			Roca fosfórica tratada <sup>z</sup>			Superfosfato triple		
	Ca/Mg	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca/Mg	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca/Mg	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca/Mg	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
----- ppm -----												
Barinas	1.8	6	15	2.3	14	17	2.0	16	100	1.9	38	20
La Iguana	0.4	4	8	1.1	16	9	0.8	13	60	0.7	24	10
Upata	2.7	18	13	4.3	19	16	3.3	25	100	3.2	84	20
Bramón	2.8	22	46	6.9	32	46	1.2	30	86	0.8	72	50

z = Roca fosfórica Monte Fresco + azufre + bacterias thiooxidantes.

P = Fósforo extraído por el método de Olsen; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> -azufre extraíble.

El Cuadro 3 muestra el efecto del tratamiento con la roca MF sobre la relación Ca: Mg de los suelos estudiados. El incremento de esta relación fue considerable en los suelos de Bramón y La Iguana, seguidos por el suelo de Upata y en menor grado por el suelo de Barinas, este último con adecuados contenidos naturales de Ca: Mg. Es importante destacar que en el suelo de La Iguana, al igual que en la mayoría de los suelos del estado de Guárico, que presenta desbalance natural en la relación Ca: Mg (<1.0) (posible causa del Síndrome Parapléjico del ganado en la zona), la aplicación de altas dosis de la roca MF podría elevar esta relación, lo cual sería una alternativa de manejo en estos suelos ácidos dedicados al cultivo de pastizales.

En el Cuadro 3 se presenta el efecto de la aplicación de los fosfatos evaluados sobre la disponibilidad de P en el suelo. Se puede observar que, en general, la fertilización con cualquiera de las fuentes de fósforo, en mayor o menor grado, aumentó la disponibilidad de P en todos los suelos. Los mayores aumentos se lograron con las fuentes de fósforo soluble (SFT) y en los suelos más deficientes en este elemento en relación con sus testigos. Estos aumentos en disponibilidad de fósforo para las plantas estuvo en el orden de 533, 475, 372 y 243%, en relación con los testigos para los suelos de Barinas, La Iguana, Upata y Bramón, respectivamente, con la fuente soluble de referencia (SFT). Con las fuentes de P poco solubles (MF y PHS) ocurrieron aumentos significativos en este parámetro en todos los suelos, con excepción del suelo de Upata (suelo arenoso, mediano contenido de P

disponible y baja capacidad de retención de fósforo), aunque no hubo diferencia significativa entre estas dos fuentes en la disponibilidad de P en la mayoría de los suelos, y esto se reflejó en los contenidos de fósforo en suelo y planta de los ensayos de campo (Cuadro 6) en el suelo de Barinas.

En el Cuadro 3 se muestra el efecto de los fosfatos MF, PHS y SFT sobre el contenido de S-SO<sub>4</sub> extraíble en los suelos estudiados. Se puede observar la gran magnitud del efecto del producto PHS sobre el contenido de azufre extraíble en estos suelos, mientras que no hubo un efecto significativo sobre este parámetro con la roca MF y el SFT. Este efecto se reflejó positivamente en los rendimientos del maíz y contenido de S-SO<sub>4</sub> extraíble en el suelo de Barinas en el ensayo de campo (Cuadro 6), mientras que en los ensayos de invernadero, el efecto de este tratamiento en relación con el testigo fue detrimental para el desarrollo, producción de materia seca y absorción de P por el pasto *Stylosanthes* en el suelo de Bramón, y beneficioso en el suelo de La Iguana, y en la primera cosecha en el suelo de Barinas (Cuadros 4 y 5).

En el ensayo de campo con maíz hubo un efecto altamente significativo ( $P < 0.01$ ) del tipo de fosfato sobre el rendimiento del cultivo, contenido de P en la planta y contenido de P y S en el suelo. Al comparar las medias de los tratamientos por fosfatos, se logró corroborar que no hubo diferencia entre los fosfatos MF y PHS en cuanto al aporte de P al suelo y su aprovechamiento por el cultivo (Cuadro 6), pero si hubo diferencia entre estos materiales en el aporte de azufre

**Cuadro 4. Producción de materia seca del pasto *Stylosanthes* en función de las fuentes de fósforo a través del tiempo en los suelos estudiados.**

Suelo	Testigo			Roca fosfórica Monte Fresco			Roca fosfórica tratada <sup>z</sup>			Superfosfato triple		
	1C	2C	3C	1C	2C	3C	1C	2C	3C	1C	2C	3C
----- materia seca g pote <sup>-1</sup> -----												
Barinas	0.3	0.7	0.7	2.0	4.0	1.9	4.7	0.8	0.6	7.8	3.7	1.6
La Iguana	0.2	0.0	0.1	6.4	2.2	1.0	2.2	4.9	3.7	4.3	4.8	2.3
Upata	4.5	2.6	3.8	4.7	2.6	4.0	3.9	1.9	3.7	2.5	1.8	2.3
Bramón	2.4	1.3	0.4	2.5	1.9	1.7	0.9	1.4	0.5	4.4	3.5	1.0

z = Roca fosfórica Monte Fresco + azufre + bacterias thiooxidantes.  
1C, 2C y 3C = Primero, segundo y tercer cortes, respectivamente.

Cuadro 5. Fósforo absorbido por el pasto *Stylosanthes* en función de las fuentes de fosfatos, evaluados a través del tiempo en los suelos estudiados.

Suelo	Testigo			Roca fosfórica Monte Fresco			Roca fosfórica tratada <sup>z</sup>			Superfosfato triple		
	1C	2C	3C	1C	2C	3C	1C	2C	3C	1C	2C	3C
----- P absorbido ppm -----												
Barinas	1	1	1	3	7	4	7	1	1	11	5	3
La Iguana	0.5	0	0	6.3	2.7	1.8	2.2	5	4.3	4	7	4.2
Upata	2.1	0.7	0.1	1.3	0.9	0.6	0.5	0.8	0.2	2.5	0.6	0.4
Bramón	4.8	2.2	3.4	5.2	1.0	2.3	5.1	1.7	3.4	6.3	2.3	3.3

z = Roca fosfórica Monte Fresco + azufre + bacterias thiooxidantes.

1C, 2C y 3C = Primero, segundo y tercer cortes, respectivamente.

al suelo y rendimiento del cultivo, lo cual indica las graves deficiencias de azufre en este suelo y que la mayor respuesta del cultivo se debió al azufre aportado por el fosfato PHS, en este caso la mayor dosis de este producto aportó 55 ppm de S.

En los ensayos de invernadero, donde la dosis de PHS aportó 140 ppm de S, hubo un efecto detrimental en relación con el testigo de este tratamiento sobre la producción de materia seca y absorción de P por el pasto en el suelo de Bramón (Cuadros 4 y 5), un suelo naturalmente bien provisto de azufre, como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 6. Efecto de los fosfatos evaluados en el rendimiento de maíz, contenido de fósforo en la planta, y contenidos de fósforo y azufre en el suelo de Barinas.

Fuente de P	Rendimiento	P en la planta	P en el suelo <sup>x</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en el suelo
	kg ha <sup>-1</sup>	%	ppm	ppm
Roca fosfórica Monte Fresco	1100	0.118	3.1	12.2
Roca fosfórica tratada <sup>y</sup>	2100	0.117	3.2	15.8
Superfosfato triple	180	0.154	6.1	12.1

x = P-Olsen.

y = Roca fosfórica Monte Fresco + azufre + bacterias thiooxidantes.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en esta serie de experiencias, se concluye lo siguiente:

1. No existieron diferencias entre el fosfato natural MF y el producto PHS, en cuanto al aporte de P al suelo y su aprovechamiento por los cultivos utilizados en el tiempo de evaluación.
2. La diferencia de efectos de MF y PHS en los suelos y cultivos utilizados estuvo determinada por el aporte de azufre del PHS al suelo y su efecto sobre el desarrollo de los cultivos.
3. La roca MF natural ejerció un efecto mejorador de las condiciones químicas de los suelos, principalmente en aquéllos con contenidos altos de Al intercambiable, bajos de Ca intercambiable, alta capacidad de retención de fósforo y baja disponibilidad de este elemento para las plantas.
4. Indirectamente se encontró que en suelos con niveles de S-SO<sub>4</sub> extraíble <10 ppm, como en el caso del suelo de Barinas, el maíz presentó respuesta a la aplicación de azufre en dosis entre 65 y 130 kg ha<sup>-1</sup>. También se encontró que al aplicar al suelo cantidades excesivas de azufre (125 ppm S) mediante el uso de rocas parcialmente aciduladas o tratadas con S elemental, se

puede inducir a la creación de condiciones químicas desfavorables para el buen desarrollo de los cultivos, especialmente si el suelo presenta altos niveles de S-SO<sub>4</sub> extraíble, como lo ocurrido en el suelo de Bramón con el desarrollo del pasto *Stylosanthes*.

#### LITERATURA CITADA

- MUCHOVEJ, M.C.R., J.J. MUCHOVEJ, and V.H. ALVAREZ V. 1989. Temporal relationship of phosphorus fractions in an Oxisol amended with rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1096-1100.

## **ROCA FOSFORICA: FUENTE ALTERNATIVA DE FOSFORO PARA LA CAÑA DE AZUCAR**

Phosphate Rock: Alternative Phosphorus Source for Sugarcane.

**Rafael Villegas y Adriano Cabrera**

Instituto Nacional de Investigación en Caña de Azúcar,  
19200 Cd. Habana, Cuba.

*Palabras clave:* Disponibilidad fosfórica del suelo, Caliza fosfatada, Efecto residual.

*Index words:* Soil phosphate availability, Phosphatic lime, Residual effect.

### **RESUMEN**

El incremento del costo de los fertilizantes minerales ha motivado la búsqueda de fuentes alternativas suministradoras de nutrimentos. A los fertilizantes fosfóricos se les ha prestado gran atención y por ello las rocas fosfóricas presentan en la actualidad grandes perspectivas. Diversos factores inciden en la efectividad de estas fuentes; entre éstos se encuentran la composición química, la forma de aplicación de las mismas y la disponibilidad fosfórica de los suelos. Las rocas fosfóricas cubanas presentan contenidos más bajos de fósforo que las foráneas, y con su aplicación se incorporan cantidades sustanciales de óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio, y además sílice. A medida que es menor la disponibilidad fosfórica del suelo, estas fuentes resultan más eficaces y la mayor efectividad se manifiesta cuando se esparcen en la superficie del suelo y se incorporan en los primeros 15-20 cm de profundidad. En la agricultura cañera resulta viable la

utilización de estos portadores de P, ya que la residualidad de los mismos, a partir de su aplicación, es duradera al menos durante cuatro años.

### **SUMMARY**

The increment in the cost of mineral fertilizers has motivated the search for alternative sources for nutrient supply. Phosphate fertilizers have received special attention and for this reason phosphate rocks present great perspectives nowadays. The efficiency of these sources is influenced by several factors, such as chemical composition, method of application and soil phosphorus availability. Cuban phosphate rocks have lower phosphorus contents than those from abroad, and with their application substantial amounts of oxides and sesquioxides of iron and aluminum, besides silica, are also incorporated. As the soil phosphorus availability decreases, those sources, become more efficient and their higher efficiency is shown when they are incorporated in the first 15-20 cm of the soil surface. In the sugarcane agriculture the use of these P sources becomes viable because their residual effect lasts at least for four years.

### **INTRODUCCION**

El incremento del costo de los fertilizantes minerales constituye una de las causas que ha motivado la búsqueda incesante



de fuentes alternativas suministradoras de nutrimentos para las plantas. En este sentido, a los fertilizantes fosfóricos se les ha prestado gran atención ya que, además de lo concerniente al aspecto económico, influyen en la necesidad de su uso, la baja disponibilidad de fósforo y la alta capacidad de retención del mismo que presenta una parte considerable de los suelos tropicales.

En la Figura 1 se muestra la ubicación y magnitud de las reservas de fosfatos naturales en Cuba. El empleo de rocas fosfóricas como fuentes de fósforo para los cultivos ha sido estudiado en las condiciones de Cuba por diversos investigadores (Villegas y Paneque, 1989; Villegas y Puebla, 1991). Su uso ha estado avalado por ser fuentes más baratas y en las que el nutrimento se encuentra sometido en menor magnitud a los procesos de adsorción por el suelo. Además de esto, presentan un efecto residual relativamente largo, aspecto de vital importancia para la caña de azúcar, cultivo al que se le realizan entre cinco y siete cosechas por ciclo de plantación y que presenta un requerimiento externo de P bajo (Cabrera, 1991). Si a lo anteriormente expuesto se une el hecho de que anualmente se cosechan en el mundo entre 13 y 15 millones de hectáreas plantadas con caña de azúcar, se

evidencia aún más la importancia que reviste contar con fuentes asequibles de P en la agricultura cañera. Diversos factores inciden sobre la efectividad de las rocas fosfóricas, algunos de los cuales se discuten en este trabajo.

#### Composición química de las rocas fosfóricas.

La composición química de las rocas fosfóricas es variable, en dependencia de su origen. En el Cuadro 1 se presentan resultados de los análisis químicos realizados a diferentes fuentes naturales de P que se han empleado en la agricultura cubana.

Cuadro 1. Composición e diferentes rocas fosfóricas utilizadas en Cuba. (Datos adaptados de Villegas y Paneque, 1991).

Elemento	Roca fosfórica marroquí	Fosforita cubana	Apatita soviética	Caliza fosfatada
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	32.06	26.33	42.00	5.50
CaO, %	51.95	26.00	52.32	63.80(+)
MgO, %	0.40	1.04	0.10	---
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0.72	5.97	0.90	3.45
SiO <sub>2</sub> , %	2.84	27.55	2.32	---
F, %	3.22	1.29	1.09	---
Otros, %	8.81	12.82	1.27	---

(+) Ca CO<sub>3</sub>



Figura 1. Yacimientos y reservas de fuentes naturales de fósforo.

Las fuentes cubanas poseen un contenido de P más bajo, por lo que, para lograr una dosis determinada del nutrimento, es necesario aplicar una dosis mayor que con las fuentes foráneas, lo que trae como consecuencia que se incorporen al suelo cantidades apreciables de óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio. Esto constituye un inconveniente, ya que los suelos donde se utilizan estas fuentes se caracterizan por su acidez, con valores de pH en KCl entre 4.0 y 5.5, y una concentración de  $H^+$  extraído con NaOAc 1 N pH 8.2 que oscila entre 3.0-5.0 meq  $100\text{ g}^{-1}$ ; presentan por lo general una saturación de bases menor a 75% y su mineralogía secundaria se distingue por el predominio de arcillas caoliníticas y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio (Hernández *et al.*, 1975). Probablemente este efecto adverso pueda atenuarse con los aportes considerables de  $SiO_2$  que se logran simultáneamente.

La caliza fosfatada, además de suministrar P, constituye un valioso material encalante dado el elevado porcentaje de  $CaCO_3$  que posee.

Disponibilidad fosfórica del suelo.

La respuesta de la caña de azúcar ante la fertilización fosfórica, está asociada al contenido de P asimilable del suelo (Cabrera *et al.*, 1992; López *et al.*, 1989). Cuando el contenido se encuentra por debajo del nivel crítico establecido para el método de Bray-Kurtz II ( $9.6\ \mu\text{g P kg}^{-1}$ ), la frecuencia de respuesta es elevada y esto es independiente de la fuente fosfórica empleada (Cuadro 2). A medida que es menor el P asimilable, el incremento de las dosis que se aplican con una u otra fuente fosfórica, provoca un mayor

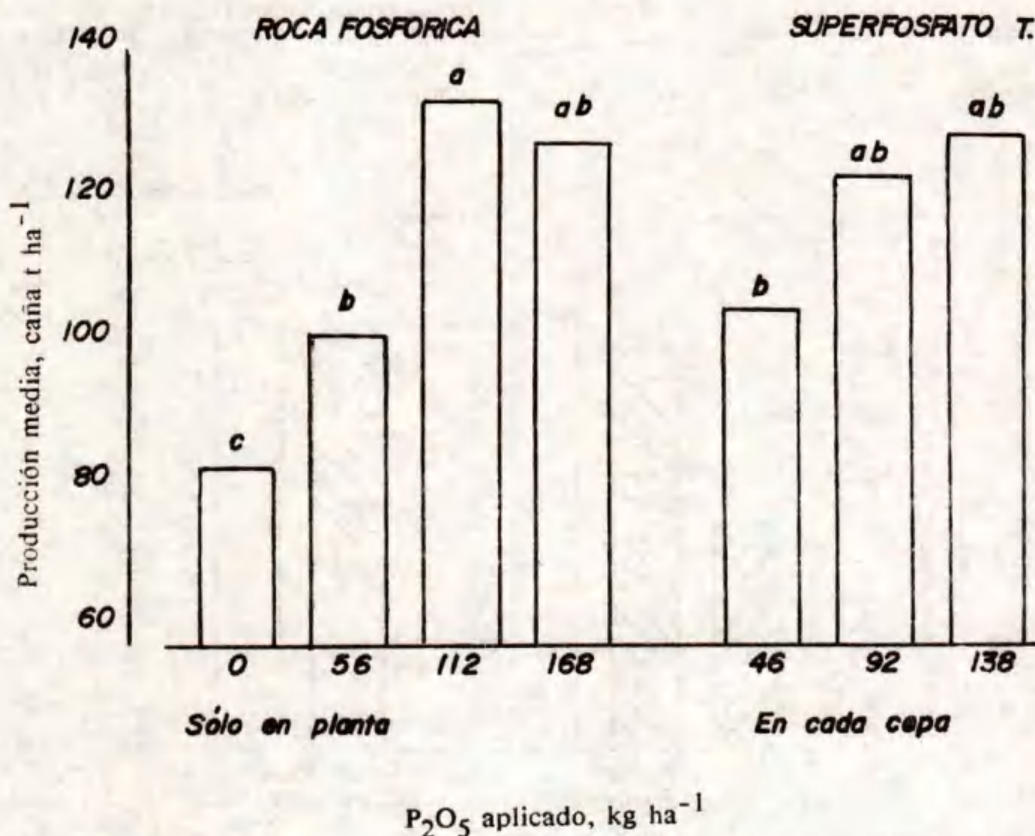


Figura 2. Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de superfosfato triple y roca fosfórica (dos cosechas).

P asimilable  $4.0\ \mu\text{g g}^{-1}$       pH KCl 5.3      MO, % 2.58

aumento en los rendimientos agrícola e industrial de la caña de azúcar (Figura 2).

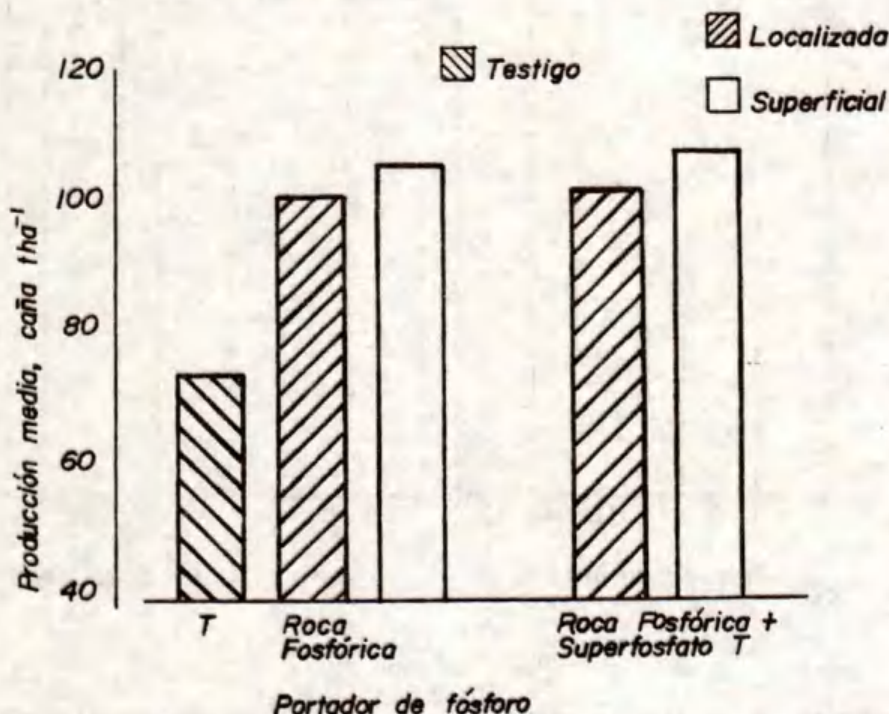
**Cuadro 2.** Efecto de la aplicación de roca fosfórica (RF) al momento de plantar con y sin aplicaciones anuales adicionales de superfosfato triple (ST) sobre la producción de caña (tres cosechas).

Tratamiento	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Producción media acumulada caña azúcar	
		--- t ha <sup>-1</sup> ---	--- t ha <sup>-1</sup> ---
I Sin fertilizante	0	74.5	27.3
II RF, 400 kg ha <sup>-1</sup>	120	104.8	39.1
III ST+RF			
IV 50 + 400	170	104.8	38.6
V 100 + 400	220	106.2	39.7
VI 150 + 400	270	108.6	38.8
VII 200 + 400	320	106.1	38.8
VIII ST			
IX 50	50	105.8	39.1
X 100	100	109.1	40.4
XI 150	150	105.6	37.8
XII 200	200	106.7	39.1
Incremento promedio sobre tratamiento I (%)		42.8	43.0
P asimilable, µg g <sup>-1</sup>	6.80		
pH KCl	4.96		
Saturación de bases (%)	65.00		
Materia orgánica (%)	3.27		

Un aspecto importante de destacar lo constituye el hecho de que cuando resulta efectiva la roca fosfórica, su efecto residual se prolonga al menos durante cuatro años (Cuadro 2).

#### Forma de aplicación.

A pesar de no contar con evidencias concluyentes respecto a la efectividad de la roca fosfórica en función de la forma de aplicarla, las tendencias encontradas indican que, cuando la fuente se esparce en la superficie y se incorpora con alguna labor en los primeros 15-20 cm del suelo, resulta más efectiva que cuando se aplica en bandas o localizada en el fondo del surco al momento de plantar (Figura 3). La mayor superficie de contacto entre el suelo y la fuente, que se logra cuando ésta se esparce y se incorpora, y el incremento de la adsorción de P a medida que aumenta la profundidad del suelo (Figura 4) tal como se ha informado (Cabrera, 1984), constituyen argumentos que explican este comportamiento.



**Figura 3.** Respuesta de la caña de azúcar a la forma de aplicación del portador de fósforo

P asimilable 6.8 µg g<sup>-1</sup> pH KCl 4.96 MO 3.27%

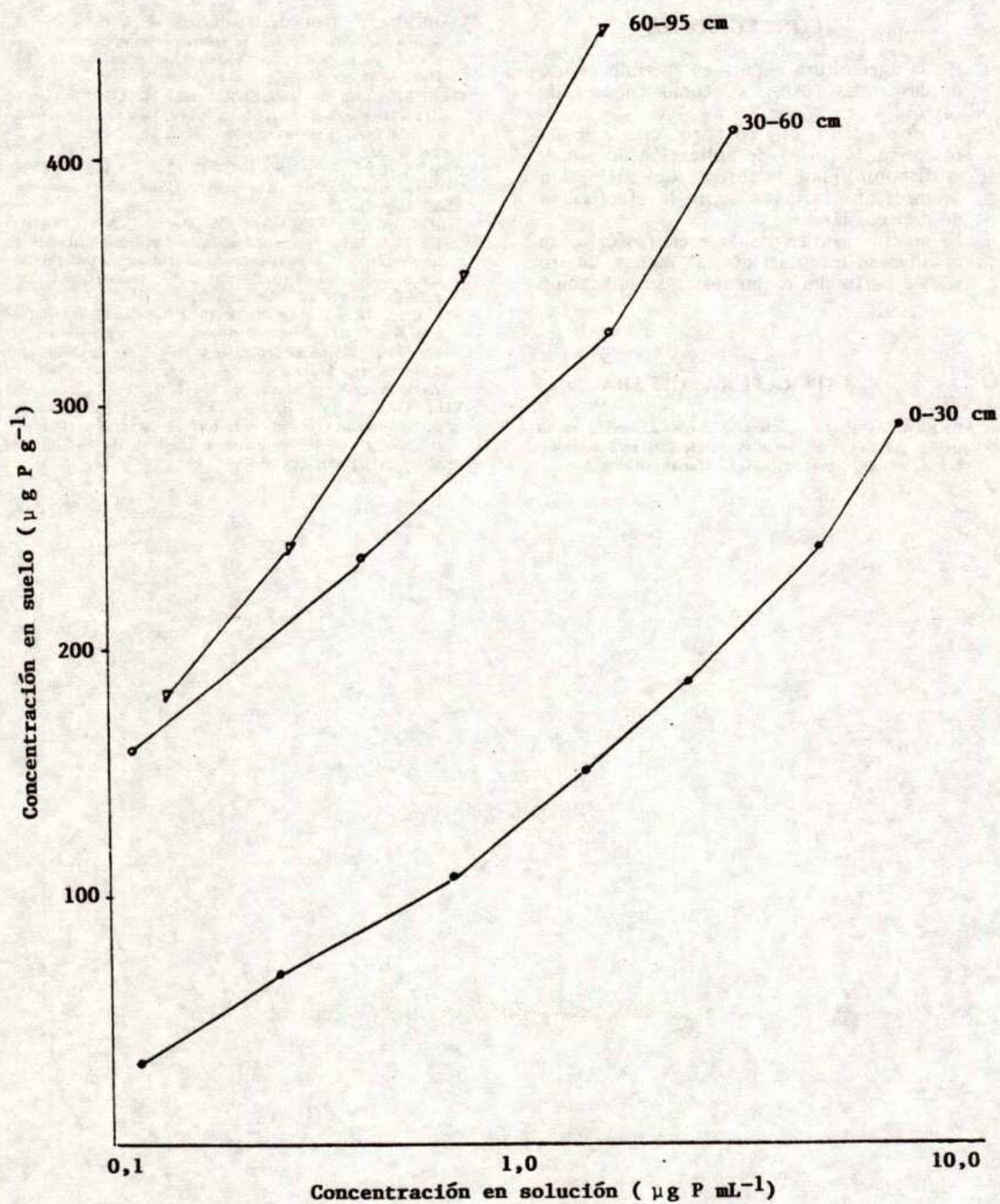


Figura 4. Incremento de la adsorción de fósforo con el aumento de la profundidad del suelo.

### CONCLUSIONES

1. En la agricultura cañera es factible el uso de las rocas fosfóricas como fuentes de fósforo.
2. El contenido en fósforo de la roca fosfórica, la forma de aplicación de ésta y la disponibilidad de fósforo del suelo, son factores que influyen sobre la efectividad de dichas fuentes.
3. El efecto residual de la roca fosfórica se manifiesta transcurridos al menos cuatro años a partir del momento de su aplicación.

### LITERATURA CITADA

CABRERA, A. 1984. Las isotermas de adsorción como método para evaluar la sorción de fósforo en los suelos. Trabajo de Diploma, ISCAH, La Habana, Cuba.

- CABRERA, A. 1991. Caracterización agroquímica de los suelos Ferralíticos donde se cultiva la caña de azúcar en Cuba. Tesis de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA, La Habana, Cuba.
- CABRERA, A., R. VILLEGAS, and M. LOPEZ. 1992. Residual effect of phosphorus application on sugarcane. (INEDITO). Presentado en el XXI Cong. ISSCT, Tailandia.
- HERNANDEZ, A. y col. 1975. II Clasificación genética de los suelos de Cuba. Acad. Cienc. Cuba, Serie Suelos No. 23, 25 pp.
- LOPEZ, M., R. VILLEGAS, A. CABRERA y CHANG REGLA. 1989. Diagnóstico de la fertilidad fosfórica y niveles críticos para la caña de azúcar en los principales suelos dedicados a su cultivo en Cuba. Memoria 45 Cong. ATAC Tomo I. Agronomía: 5-22.
- VILLEGAS, R. y V. PANEQUE. 1989. Resultados obtenidos con el uso de la roca fosfórica como portador en el cultivo de la caña de azúcar en la República de Cuba. pp. 270-278. in: Memoria I Seminario de Fósforo en la Agricultura Venezolana, pp. 270-278.
- VILLEGAS, R. y CHANG REGLA. 1991. Resultados obtenidos con el uso de roca fosfórica y otros portadores del fósforo en los principales cultivos de la isla de Cuba. ADIFAL, XIV (46): 8-14.

## EVALUACION AGRONOMICA DE FUENTES DE FOSFORO EN SUELOS CHILENOS CULTIVADOS CON ARROZ INUNDADO

Agronomic Evaluation of Phosphorus Sources in Chilean Soils Cultivated With Flooded Rice

Carlos Rojas Walker y Rodrigo Ortega Blue

Estaciones Experimentales La Platina y Quilamapu, INIA Casilla 439/3, Santiago de Chile, Chile

*Palabras clave:* Roca fosfórica, Fertilización fosfatada, Arroz inundado, Suelos chilenos.

*Index words:* Phosphate rock, Phosphorus fertilization, Flooded rice, Chilean soils.

a la obtenida con los fosfatos de mayor solubilidad, en lo que se refiere a incremento del rendimiento de grano y a disminución de la esterilidad floral.

### RESUMEN

El uso de roca fosfórica (RF) como proveedora de fósforo al cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) inundado ha demostrado ser una práctica económica, y tanto o más eficiente que el superfosfato triple, en estudios desarrollados en suelos ácidos e inundados de Perú, Filipinas e India. La mayor parte de los suelos dedicados al cultivo de arroz en Chile presentan baja disponibilidad de fósforo y pH ácido, lo cual justificó investigar la eficiencia agronómica de cuatro fuentes de fósforo, incluyendo una RF chilena, en arroz inundado. Durante tres ciclos de cultivo se condujeron experimentos de campo en Alfisoles y Vertisoles, ensayando tres niveles de fertilización fosfatada con base en superfosfatos simple y triple, fosfato diamónico y roca fosfórica de Bahía Inglesa, Chile. La aplicación de fósforo de todas la fuentes fertilizantes evaluadas incrementó significativamente tanto los rendimientos de grano como la fecundidad floral. La RF de Bahía Inglesa presentó una eficiencia similar

### SUMMARY

The use of phosphate rock (PR) as a phosphorus source for flooded rice has demonstrated to be an economical practice and with similar or higher efficiency than superphosphate in studies carried out in flooded acid soils of Peru, Philippines and India. Most of the soils cultivated with rice in Chile present a low level of available phosphorus and an acid pH. These facts justified to investigate the agronomic efficiency of four phosphorus sources, including a Chilean phosphate rock, in flooded rice. During three seasons field experiments were carried out on Alfisols and Vertisols, testing three levels of phosphorus fertilization based on normal and triple superphosphate, diammonium phosphate and PR from Bahia Inglesa, Chile. The phosphorus application of all the sources tested, increased significantly the grain yields and reduced flower sterility. Phosphate rock from Bahia Inglesa showed an efficiency similar to that obtained with phosphates of higher solubility, in respect to increasing grain yields and reducing flower sterility.

Recibido 7-93

## INTRODUCCION

La evaluación agronómica de diversas fuentes de fósforo en la corrección de este nutrimento y el incremento de la disponibilidad del fósforo, especialmente en suelos sometidos al cultivo de arroz inundado, ha sido una preocupación frecuente en diversos países donde se practica este tipo de agricultura. Así, con aplicaciones de la roca de Huila en suelos ácidos inundados (Carimagua) del Perú, se produjo similar rendimiento de grano de arroz que en la fuente superfosfato triple (SFT) (Hammond y León, 1982). En experimentos de largo plazo, las RF en suelos ácidos inundados de Filipinas fueron más eficientes que el SFT para incrementar los rendimientos de grano (Thongbai *et al.*, 1988). En un estudio sobre efectividad de fuentes de fósforo para arroz en suelos de la India, las RF indujeron los más altos rendimientos de arroz y trigo, además de retornos económicos (Datta y Gupta, 1983).

En Chile la mayor parte de los suelos dedicados al cultivo de arroz presentan bajo contenido de P disponible, y suelos con P disponible en el rango ácido (Klee y Sepúlveda, 1989; Rojas, 1976, Rojas *et al.*, 1991) además de bajos contenidos de materia orgánica. En estas condiciones, se consideró necesario efectuar un estudio para evaluar la eficiencia agronómica de algunas fuentes fertilizantes, incluyendo una roca fosfórica chilena como alternativa para la corrección de la deficiencia de fósforo en suelos inundados.

## MATERIALES Y METODOS

En este estudio se consideró la variación del contenido de P disponible en el área de suelos con potencial para el cultivo de arroz inundado de los suelos chilenos. Este cultivo se practica frecuentemente como monocultivo en la Séptima y Octava Región de Chile (Linares y Nuble), que ocupa aproximadamente alrededor de 33 000 ha anuales.

La distribución del muestreo de suelos inundados se ilustra en la Figura 1. Los análisis químicos se efectuaron en el Laboratorio de Diagnóstico de la Estación Experimental Quilmapu, y el experimento en macetas se estableció en condiciones de invernadero.

Los experimentos de campo se ubicaron en suelos Alfisoles (2) y Vertisoles (1) durante tres temporadas (1989-1990, 1990-1991, 1991-1992) en localidades cercanas a las ciudades de San Carlos y Parral, respectivamente, en el marco de los suelos estudiados desde el punto de vista de la disponibilidad de P. El diseño experimental empleado fue el de parcela dividida con tres repeticiones, se incluyeron como tratamientos dosis de fósforo que fluctuaron entre 0, 13, 26 y 52 kg de P ha<sup>-1</sup>, y como sub-tratamientos las fuentes fertilizantes: 1) superfosfato triple SFT, (46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 2) fosfato diamónico FD, (46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 3) superfosfato normal SFN (22% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), y 4) roca de Bahía Inglesa RBI (17% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Las parcelas de 3 x 5 m permitieron la obtención de 4 m<sup>2</sup> de superficie cosechable. Los experimentos se ubicaron en terrenos del agricultor, y se mantuvo el mismo manejo de la lámina de agua.

Los cultivares de arroz empleados para la evaluación fueron: Diamante (1989-1990), Oro (1990-1991) y Buli-INIA (1991-1992). Se sembraron 160 kg de semilla ha<sup>-1</sup>, y se realizó una fertilización con 120 kg de N ha<sup>-1</sup> (urea, 45% de N) y 83 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (cloruro de potasio, 50% de K<sub>2</sub>O).

Los fertilizantes fueron incorporados con rotiller previo a la inundación; en el caso del nitrógeno sólo se aplicó la mitad de la dosis, la otra mitad se aplicó al voleo sobre el agua en la época de macolla. Las malezas fueron controladas con los herbicidas Londax 60F (Bensulfuron metil) y Ordram 10G (Molinate). Las evaluaciones comprendieron análisis de suelo, rendimiento de grano, altura de plantas, producción de materia seca, humedad de grano y esterilidad floral. Las determinaciones de humedad de grano y esterilidad floral (20 paniculas) se efectuaron en 0.25 m<sup>2</sup> de cada parcela a la cosecha.

Se efectuaron análisis de varianza y análisis de regresión simple para la evaluación de los resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características químicas de los suelos.

Los suelos cultivados con arroz inundado presentaban bajos contenidos de fósforo disponible en ambas provincias, además de

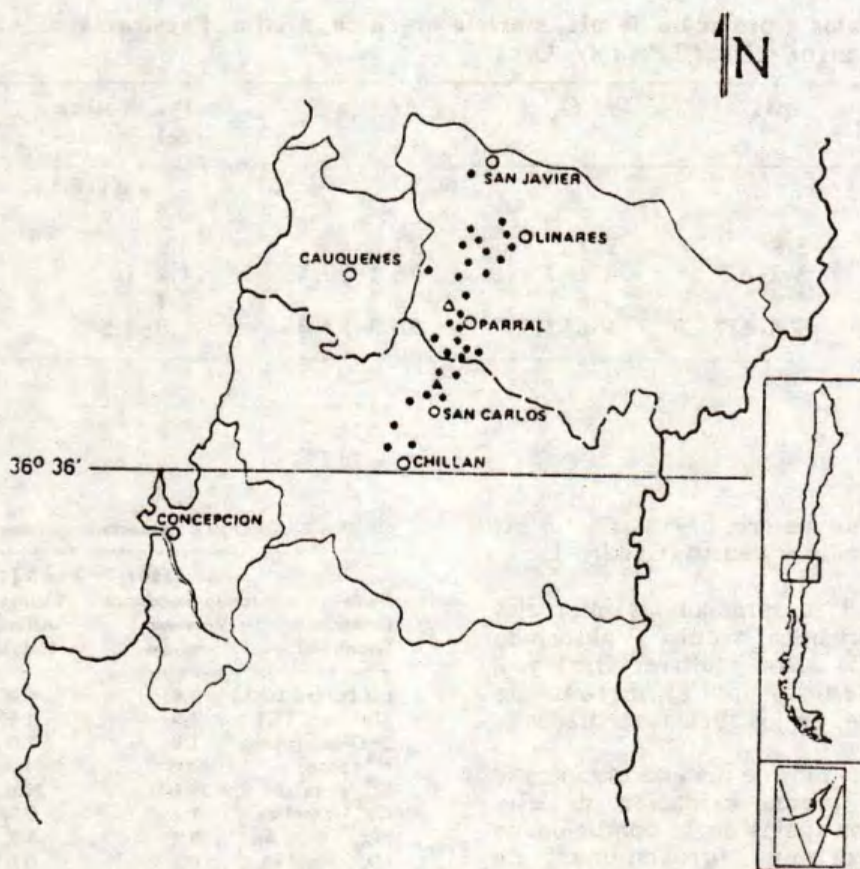


Figura 1. Mapa de muestreo de suelos chilenos para P-disponible y sitios experimentales en arroz inundado.

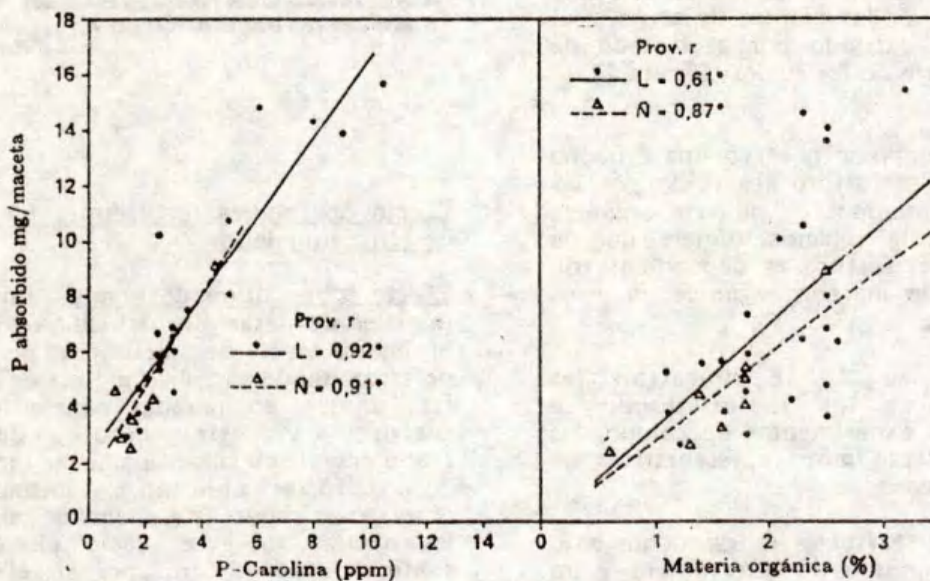


Figura 2. Relación entre el fósforo absorbido por arroz (*Oriza sativa* cv. Oro) y el P disponible y la materia orgánica de los suelos inundados.



**Cuadro 1. Intervalos y promedio de pH, materia orgánica, arcilla, P-extractable y absorción de P por plantas de arroz (*Oriza sativa* cv. Oro).**

Provincia		pH	M.O.	Arcilla	P Carolina del Norte	P Absorbido
			- - - - %	- - - -	- mg kg <sup>-1</sup> -	mg/maceta
Linares	P	5.8	2.1	37.8	3.6	7.5
	I	5.2-6.5	1.1-3.2	26.1-56.2	1.2-10.5	2.9-15.7
Ñuble	P	5.9	1.6	36.8	2.1	4.8
	I	5.5-6.7	0.6-2.5	26.8-54.8	1.0-4.5	2.6-9.1

P = Promedio

I = Intervalo

bajos contenidos de materia orgánica y un pH moderadamente ácido y neutro (Cuadro 1).

En el Cuadro 1 se aprecian los intervalos de pH, materia orgánica, arcilla, P absorbido por las plantas de arroz (cultivar Oro) y P extractable, obtenido por el método de Carolina del Norte, en los suelos estudiados.

Los bajos contenidos de materia orgánica se explican por la rápida oxidación de este componente de los suelos en la condición de intensa labranza en agrosistemas de monocultivo, predominantes en esta región.

En los suelos de ambas provincias se observó una significativa asociación entre la absorción de P por las plantas de arroz y el contenido de P extraído por el método de Carolina del Norte de los suelos (Figura 2).

Al mismo tiempo se observó una estrecha asociación entre el fósforo absorbido por las plantas y los contenidos de materia orgánica de los suelos; esta relación sugiere que la disponibilidad del fósforo es dependiente de los contenidos de materia orgánica en estos suelos inundados.

En el Cuadro 2, se muestran las características de los suelos donde se establecieron los experimentos de campo, las cuales se consideran muy representativas de los suelos estudiados.

En general, estos suelos muestran un bajo contenido de aluminio de intercambio y un complejo de intercambio dominado por calcio y magnesio.

**Cuadro 2. Algunas características químicas de los suelos.**

Serie Orden Localidad	Año 1 (1989)	Año 2 (1990)	Año 3 (1991)
	Quella-unicaven Vertisol Niquen	Unicaven Alfisol Parral	Unicaven Alfisol Parral
pH (agua, 1:2.5)	5.6	6.0	6.5
Mat. org. (%)	1.9	2.5	1.6
P-Olsen (ppm)	1.0	2.0	1.0
N <sup>2</sup> (ppm)	43.0	44.0	19.0
K <sup>+</sup> (ppm)	19.0	24.0	26.0
Ca <sup>2+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	7.4	9.98	14.1
Mg <sup>2+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	3.2	5.2	8.0
Na <sup>+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	0.2	0.3	0.4
Al <sup>3+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	0.0	0.0	0.0
H <sup>+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	0.0	0.0	0.0
CIC cmol kg <sup>-1</sup>	10.0	15.5	22.6

<sup>2</sup>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mineralizado (Waring y Bremner)

<sup>+</sup>K extraído con NH<sub>4</sub>COOH N pH 7

#### Efecto de fuentes fertilizantes en el cultivo de arroz inundado

Efecto sobre altura de plantas. En las etapas iniciales de desarrollo del cultivo se observó un hábito erecto de crecimiento de las plantas de arroz donde se aplicó alguna de las fuentes fertilizantes, comparadas con el testigo sin fósforo, y este efecto desapareció gradualmente en la medida que se incrementó la dosis de fósforo aplicado. Al mismo tiempo se observaron claras diferencias de cobertura de las plantas sobre el suelo al corregir el suministro de fósforo, por su efecto en la macolla de las plantas, independientemente de la fuente de fósforo empleada.

Sólo en la variedad Diamante (1989-1990) se presentó un efecto significativo de la dosis de fósforo aplicada sobre la altura de las plantas, pero este efecto no fue significativo en lo que se refiere a las fuentes fertilizantes empleadas (Cuadro 3). Esta menor altura de plantas ha sido también observada en los mismos cultivares estudiados en ausencia de fósforo en suelos inundados de Talca (Rojas *et al.*, 1991).

Cuadro 3. Efecto de la dosis y fuente de fósforo en la altura de plantas de arroz, cultivar Diamante. Niquen, Nuble, 1989/1990.

Dosis de P kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	Fuente fertilizante				Promedio <sup>a</sup>
	SFT	FD	SFN	RBI	
0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0 b
30	97.0	95.7	95.3	97.0	96.3ab
60	93.3	98.7	98.0	94.3	96.1ab
120	94.0	97.3	97.7	100.7	97.4a
Promedio <sup>1</sup>	94.3a	96.2a	96.0a	93.3a	

<sup>a</sup>Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

SFT = superfosfato triple; FD = fosfato diamónico; SFN = superfosfato normal; RBI = roca de Bahía Inglesa.

**Efecto sobre humedad del grano.** Durante las tres temporadas de evaluación agronómica de las fuentes fertilizantes empleadas se observó una significativa disminución de la humedad del grano a partir de los 112 días después de la siembra, en todos los cultivares estudiados (Figura 3).

Este efecto fue consistente pero independiente de las fuentes fertilizantes empleadas. Estas diferencias de humedad de 5-10% de menor humedad con respecto al testigo, se pueden traducir en un retraso vegetativo de 10-15 días por ausencia de aplicación de fósforo fertilizante.

La menor humedad de grano en todas las fuentes fertilizantes evaluadas se obtuvo con una dosis de 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> coincidiendo con un mayor rendimiento de grano.

**Efecto sobre el rendimiento de grano.** La dosis de fósforo incrementó el rendimiento de grano (Duncan 5%), independientemente de la fuente fertilizante empleada en los cultivares evaluados durante las tres temporadas de estudio. Las dosis de 26 y 52 kg de P

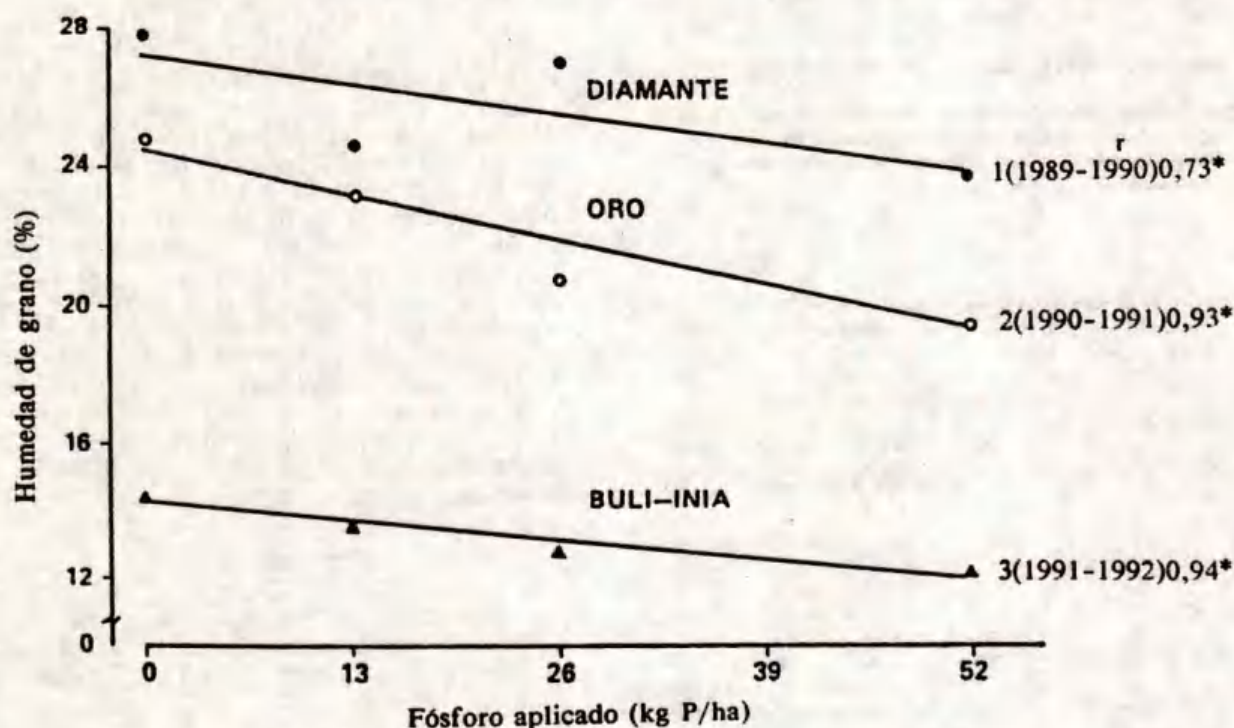


Figura 3. Efecto de la dosis y fuentes de fósforo en la humedad del grano de arroz. Promedios de tres cultivares y tres temporadas sucesivas.

mostraron un efecto significativo sobre el testigo sin fósforo, a excepción del cultivar Diamante (Cuadros 4, 5 y 6), en todos los años evaluados. Aparentemente el cultivo de arroz inundado es una especie que ha demostrado una notoria eficiencia en la solubilización de fósforo en suelos de bajo contenido de fósforo disponible y de diversas fuentes fertilizantes.

Una dosis equivalente a 26 kg de P ha<sup>-1</sup> (56 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) sería suficiente para permitir la expresión de rendimiento de los cultivares empleados, independientemente de la fuente fertilizante utilizada, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio.

Cuadro 4. Efecto de la dosis y fuentes de fósforo en el rendimiento de grano de arroz<sup>1</sup>, cultivar Diamante. Niquen, Ñuble, 1989/1990.

Dosis de P	Rendimiento de grano				
	SFT	FD	SFN	RBI	Promedio <sup>x</sup>
kg ha <sup>-1</sup>	--- qq/ha 14% humedad ---				
0	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7ab
13	91.1	92.8	94.6	91.5	92.5a
26	85.4	88.3	84.1	79.5	84.3 b
52	91.9	92.0	96.0	92.0	92.9a
Promedio <sup>x</sup>	88.8a	90.0a	90.4a	87.5a	

SFT = superfosfato triple; FD = fosfato diamónico; SFN = superfosfato normal; RBI = roca de Bahía Inglesa.

<sup>x</sup>Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

Cuadro 5. Efecto de la dosis y fuente de fósforo en el rendimiento de grano de arroz, cultivar Oro 1. Parral, Linares, 1990-1991.

Dosis de P	Rendimiento de grano				
	SFT	FD	SFN	RBI	Promedio <sup>x</sup>
kg ha <sup>-1</sup>	--- qq/ha 14% humedad ---				
0	69.1	69.1	69.1	69.1	69.1 b
13	79.9	77.7	67.3	71.3	74.0ab
26	84.2	98.7	92.7	94.3	92.5a
52	95.2	85.7	96.0	95.1	93.0a
Promedio <sup>x</sup>	82.1a	82.8a	81.3a	82.4a	

<sup>x</sup>Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

SFT = superfosfato triple; FD = fosfato diamónico; SFN = superfosfato normal; RBI = roca de Bahía Inglesa.

La dosis de fósforo generalmente afecta algunas características agronómicas como la esterilidad floral, que a su vez pueden afectar la calidad del grano.

Cuadro 6. Efecto de la dosis y fuente de fósforo en el rendimiento de grano de arroz, cultivar Buli-INIA. Parra, Linares, 1991/1992.

Dosis de P	Rendimiento de grano				
	SFT	FD	SFN	RBI	Promedio <sup>x</sup>
kg ha <sup>-1</sup>	--- qq/ha 14% humedad ---				
0	94.6	94.6	94.6	94.6	94.6 b
13	97.3	97.5	97.0	104.2	99.0ab
26	105.9	113.2	104.3	107.3	107.7a
52	110.3	109.5	111.0	108.3	109.8a
Promedio <sup>x</sup>	102.0a	103.7a	101.7a	103.6a	

<sup>x</sup>Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

SFT = superfosfato triple; FD = fosfato diamónico; SFN = superfosfato normal; RBI = roca de Bahía Inglesa.

### Efecto sobre la esterilidad floral

Durante las dos últimas temporadas, se evaluaron también el efecto de las dosis y fuentes fertilizantes en la característica definida como esterilidad floral del arroz. Se apreció una tendencia a disminuir la esterilidad floral del arroz al incrementarse la dosis de fósforo aplicado, independientemente de la fuente fertilizante empleada (Cuadros 7 y 8). Este efecto se hizo evidente sobre la dosis equivalente a 26 kg de P/ha. Sin embargo, Rojas *et al.* (1992), al evaluar diversas fórmulas de fertilización en arroz substrayendo fósforo, indicaron que en general los cultivares tienden a mantener esta característica frente a este estrés nutricional por su estabilidad genética.

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación agronómica de fuentes fertilizantes fosforadas en arroz inundado, permiten concluir lo siguiente:

La aplicación de fósforo de todas las fuentes fertilizantes evaluadas permitió

Cuadro 7. Efecto de la dosis y fuente de fósforo en la esterilidad floral en arroz, cultivar Oro. Parral, 1991-1991.

Dosis de P (kg/ha <sup>-1</sup> )	Esterilidad floral				
	SFT	FD	SFN	RBI	Promedio <sup>z</sup>
	----- % -----				
0	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1a
13	15.9	14.1	16.7	16.1	15.7ab
26	13.5	12.3	13.3	14.8	13.5 b
52	13.9	12.7	15.9	14.3	14.2 b
Promedio <sup>z</sup>	15.6a	14.6a	16.3a	16.1a	

<sup>z</sup> Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

SFT = superfosfato triple; FD = fosfato diamónico; SFN = superfosfato normal; RBI = roca de Bahía Inglesa.

Cuadro 8. Efecto de las dosis y fuentes de fósforo en la esterilidad floral en arroz, cultivar Buli-INIA. Parral, 1991/1992.

Dosis de P (kg/ha <sup>-1</sup> )	Esterilidad floral				
	SFT	FD	SFN	RBI	Promedio <sup>z</sup>
	----- % -----				
0	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6a
13	20.6	22.9	21.8	17.8	20.8a
26	20.0	21.5	17.6	20.0	19.8a
52	14.9	16.9	17.5	14.7	16.0 b
Promedio <sup>z</sup>	19.0a	20.5a	19.4a	18.3a	

<sup>z</sup> Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan 5%).

SFT = superfosfato triple; FD = fosfato diamónico; SFN = superfosfato normal; RBI = roca de Bahía Inglesa.

incrementar los rendimientos de grano y disminuir la esterilidad floral en forma significativa.

La aplicación de fósforo indujo una mayor precocidad al cultivo inundado, al disminuir la humedad del grano en todos los cultivares.

Todas las fuentes fosfatadas solubles al agua presentaron una eficiencia similar, en el intervalo de dosis evaluadas, en lo que se refiere a rendimiento de grano.

La roca fósforica de Bahía Inglesa presentó una eficiencia similar a los fertilizantes tradicionales solubles al agua, en lo que se refiere a rendimientos de grano, en las condiciones en que fue evaluada.

## LITERATURA CITADA

- DATTA M., and R.K. GUPTA. 1983. Comparative efficiency of single super phosphate, bone meal and rock phosphate alone and in various combinations in augmenting crop yields in Nagaland soils. *Indian Agriculturist* 27: 247-259.
- HAMMOND, L.H. y L.A. LEON. 1982. Efectividad agronómica de las rocas fosfóricas. Guía de estudio. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT, Colombia.
- KLEE, G. y G. SEPULVEDA. 1989. Sistemas de producción de los agricultores arroceros. Convenio IRM-FNDR-INIA. Estación Experimental Quilamapu-INIA (Chile).
- ROJAS W., C. 1976. Selección de métodos para la evaluación de P disponible en suelos arroceros. *Agricultura Técnica (Chile)* 36: 5-13.
- ROJAS W., C., C.N. BELMAR y P.B. GRAU. 1991. Diagnóstico de deficiencias nutritivas en suelos bajo monocultivo de arroz. I. Efecto sobre crecimiento y madurez. *Agricultura Técnica (Chile)* 51: 328-333.
- ROJAS W., C., C.N. BELMAR y P.B. GRAU. 1992. Diagnóstico de deficiencias nutritivas en suelos bajo monocultivo de arroz II. Efecto sobre rendimiento de grano y algunas variables agronómicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 52: 181-186.
- THONGBAI, P., D.W. PUCKRIDGE, P. SANGTHONG, and A. SATTARASART. 1988. Residual effect of rock phosphate and triple superphosphate on production of deepwater rice on acid sulphate soil. p. 439-448. In: *Proceedings of the 1987 International Deepwater Rice Workshop*. Manila, Philippines: 439-448.

## RESPUESTA DE *Theobroma cacao* L. A LA ROCA FOSFORICA EN EL NORTE DE CHIAPAS, MEXICO

Response of *Theobroma cacao* L. to Phosphate Rock at North of Chiapas, Mexico

Camerino Guzmán Estrada<sup>1)</sup> y Fidencio Puente Flores<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Investigador del Prog. de Frutales Tropicales, CESSI, CIRNO INIFAP, SARH, MEXICO

<sup>2)</sup>Exjefe del Depto. de Suelos, INIFAP, SARH, MEXICO

*Palabras clave:* Fertilización fosfatada, Cacao.

*Index words:* Phosphate fertilization, Cacao.

### RESUMEN

En una plantación comercial de cacao en condiciones de temporal, ubicada al norte de Pichucalco, Chiapas, se llevó a cabo un estudio de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio para incrementar el rendimiento de grano por medio de un fertilizante fosfatado de bajo costo y efecto residual prolongado en el suelo, como lo es la roca fosfórica.

Se realizaron 15 recolecciones y se obtuvieron de 12 200 a 23 400 frutos sanos y maduros por hectárea, equivalentes a una producción de 570 a 956 kg de grano seco. Se cosecharon 306 kg de grano seco más, al aplicar 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato triple de calcio, respecto a no aplicar fósforo. Al aplicar P en forma de roca fosfórica se manifestó un incremento en el rendimiento de grano seco, en forma práctica y directamente proporcional al aumento de la dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Al comparar ambas fuentes de fósforo se encontró que con 50 y 750 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato y roca fosfórica se produjeron 876 y 956 kg ha<sup>-1</sup> de grano seco, respectivamente. La roca fosfórica calcinada de San Luis Potosí fue mucho menos eficiente y con menor tasa de retorno al capital variable que el superfosfato triple de calcio.

### SUMMARY

In a commercial cacao plantation under rainfall conditions, located in the North of Pichucalco, Chiapas, a fertilization study was carried out with nitrogen, phosphorus and potassium, to increase the yield of grain using phosphate rock, which is a fertilizer of low cost and prolonged residual effect in the soil.

Fifteen harvests were made, obtaining from 12 to 23 thousand healthy mature fruits per hectare, giving from 570 to 956 kg yield of dry grain. The application of 50 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as triple superphosphate increased dry grain yield in 306 kg ha<sup>-1</sup>. When phosphate rock was applied, an increment in yield of dry grain was observed, which in practice it was directly proportional to the increase in the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rate.

When both phosphorus sources were compared, it was observed that with 50 and 750

Recibido 6-93.

kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as superphosphate and phosphate rock, dry grain yields of 876 and 956 kg ha<sup>-1</sup> respectively were obtained. The calcined phosphate rock of San Luis Potosí was much less efficient and with lower return rate to the variable capital, than the triple superphosphate.

## INTRODUCCION

Cuando los españoles llegaron a América vieron que los indios de México bebían un líquido frío y espumoso, amargo y fuerte. Los aztecas lo llamaban "chocolatl" y decían que provenía del árbol del "cacao". Ningún europeo jamás había oído hablar de él, porque este árbol sólo se encontraba en la América Tropical, aunque hoy el cacao proviene en su mayor parte del África Tropical. Se cree que en los valles del Amazonas y del Orinoco estuvo el centro de origen del cacao, pero se dice que su primer impulso como cultivo fue en México y que el cacao criollo quizá tenga su origen en nuestro país y Centroamérica.

En México las entidades que producen cacao son seis: Tabasco, Chiapas, Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Michoacán; de éstas las principales productoras son Tabasco y Chiapas, ya que aportan 80.4 y 18.7%, respectivamente, de la producción nacional de cacao.

El estado de Chiapas dispone de plantaciones de cacao en las regiones norte y costera del Océano Pacífico, específicamente en Pichucalco y Reforma, donde se tienen alrededor de 13 mil ha ocupadas con cacao. Las plantaciones de cacao de la región norte de Chiapas están establecidas en suelos rojizos, que se caracterizan por ser ricos en materia orgánica y pobres en fósforo, así como en otros nutrimentos que limitan severamente el rendimiento de grano.

El uso de fertilizante es tan antiguo como la agricultura misma. Entre los principales fertilizantes están los fosforados, cuya materia prima hoy en día es la fosforita (Sauchelli, 1966). La roca fosfórica finamente molida, aplicada directamente al suelo, puede ser efectiva como fertilizante siempre y cuando se use en suelos suficientemente ácidos y con humedad adecuada que permita al ácido atacar a la roca (Collings, 1958). También en los suelos ácidos y de carácter orgánico, la fosforita

pulverizada puede arrojar buenos resultados, debido a que existe una menor fijación del fósforo en comparación con la que presentan los fertilizantes fosfatados solubles en ácido cítrico o citrato de amonio (Jacob y Vexkull, 1973).

La fosforita finamente molida se agrega al suelo en cantidades bastante grandes, con la finalidad de obtener un incremento sustancial en el contenido de fósforo del suelo, así como para lograr un prolongado efecto residual (Black, 1975); de ahí que Woodhouse (1949), al comparar a la fosforita con el superfosfato, encontró que fue necesario de dos a siete veces más de fósforo en la forma de roca fosfórica para tener una respuesta igual a la del superfosfato.

La naturaleza ácida de la solución del suelo aumenta el poder de disolución de los minerales fosfatados, haciendo disponible el fósforo para las especies vegetales. Por lo tanto, en suelos ácidos con buena humedad se puede esperar un buen efecto de las rocas fosfatadas, al ser aplicadas finamente molidas, especialmente en cultivos perennes.

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue incrementar el rendimiento de grano de cacao mediante aplicaciones de roca fosfórica, la cual es un fertilizante fosfatado de bajo costo y efecto residual prolongado en el suelo.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se llevó a cabo en una plantación comercial de cacao Patastillo Ceylán de 12 años de edad, con la leguminosa *Gliricidia sepium*, como regulador térmico, ubicada entre Teapa, Tabasco, y Pichucalco, Chiapas, a una altura de alrededor de 107 metros sobre el nivel del mar, 17°31' latitud norte y 93°07' longitud oeste. El clima es cálido-húmedo, la precipitación pluvial total anual es de 4037 mm y la temperatura media anual es de 26.4 °C. De acuerdo con Köppen, modificado por García (1973), el clima es Af(m)w'(i)g.

El suelo es de tipo Luvisol oscuro en su parte superficial, con profundidad variable, permeable y fisiografía de mediana a fuertemente ondulada. La textura es migajón arcillosa, reacción fuertemente ácida (4.9), contenido de mediano a extremadamente rico en

materia orgánica y nitrógeno, extremadamente pobre en fósforo, bien abastecido de potasio, calcio y magnesio.

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones y ocho árboles (4 m entre plantas) por unidad experimental total y útil.

Los niveles y fuentes de fertilización estudiados fueron: 38 kg ha<sup>-1</sup> de N en forma de urea; 0, 50 y 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato triple de calcio; 150, 300, 450, 600 y 750 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica calcinada de San Luis Potosí, con 27% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, 2.6% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble en citrato de amonio a 2%; y 56 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O como cloruro de potasio. El fertilizante se aplicó en banda a 65 cm del tallo principal en dos fases; en julio 50% de N y K<sub>2</sub>O y 100% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en octubre el restante 50% de N y K<sub>2</sub>O.

Se evaluaron los chilillos con marchitamiento prematuro, frutos afectados por *Phytophthora palmivora* y por aves picadoras y animales roedores, así como frutos maduros sanos y rendimiento de grano seco.

La evaluación de este estudio se hizo con base en las medias y análisis de varianza de las variables: número de chilillos con marchitamiento prematuro, frutos afectados por pudrición negra (*Phytophthora palmivora*), frutos maduros sanos y rendimiento de grano seco.

En el ciclo productivo comprendido de septiembre de 1976 a junio de 1977 se efectuaron 16 cuantificaciones de chilillos con marchitamiento prematuro, frutos de 70 días de crecimiento y desarrollo, problema aparentemente debido a un inadecuado abastecimiento nutricional. También se realizaron 13 cuantificaciones de frutos afectados por el hongo *P. palmivora* que abarcaron tanto a chilillos como a frutos con más de 70 días de crecimiento. Para la variable rendimiento se cuantificaron los frutos fisiológicamente maduros, rendimiento de grano seco.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para cada una de las medidas obtenidas de las variables cuantificadas se realizó el análisis de varianza, determinándose una

diferencia altamente significativa a un nivel de probabilidad de 1% en la desviación de las observaciones o datos respecto a su media, con un coeficiente de variación de 23 a 38%, el cual se puede considerar de aceptable a substancialmente alto, correspondiendo el valor más bajo al rendimiento de grano y el más alto a los frutos con pudrición negra. Por otro lado, es recomendable considerar este parámetro estadístico en función de la medida de crecimiento o producción a evaluar y su relación con algunos factores incontrolables como la humedad en el suelo y medio ambiente, entre otros.

Con las medias de producción acumulada de cada medida de producción considerada, se procedió a la separación de medias entre los tratamientos a través de la prueba de selección de la DMS a 5% de probabilidad. Se observó diferencia estadística entre tratamientos en cada una de las variables estudiadas.

En el Cuadro 1 se presentan las medias de las producciones acumuladas por efecto de cada uno de los tratamientos sobre las variables chilillos con marchitamiento prematuro, frutos afectados por pudrición negra, frutos maduros sanos y rendimiento de grano seco.

Se observa en el Cuadro 1 que la cantidad de chilillos con marchitamiento prematuro que se desprendieron del árbol varió de 16 mil a 31 mil por hectárea. Al usar superfosfato triple de calcio (SCT) no se manifestó efecto significativo entre la menor y mayor dosis de P y la caída de chilillos; asimismo, no se observó una influencia definida positiva o negativa en la caída de chilillos; en tanto, al fertilizar con roca fosfórica calcinada (RFC), la caída de chilillos fue de 16 mil a 25 mil y tampoco se presentó un efecto definido entre la menor y mayor dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la caída de chilillos; sin embargo, se observó que en cierta forma la menor caída de chilillos, 18 mil y 16 mil, se registró al fertilizar con 150 y 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como RFC; y como tal esto último es lo más sobresaliente.

En el Cuadro 1 se observa que el número de frutos afectados por pudrición negra fluctuó de 613 a 1958 frutos por hectárea. Se observó que al fertilizar con STC como fuente de P, el número de frutos afectados con este hongo fue prácticamente igual para las dosis de 50 y 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, con 1 214 y 1 256 frutos

Cuadro 1. Algunas medidas de producción de cacao Patastillo Ceylán obtenidas con ambas fuentes de fósforo, en el norte de Chiapas.

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Fuente P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Chilillos con marchitamiento prematureo	Frutos		Rend. kg ha <sup>-1</sup>
				Afectados por <i>P. palmivora</i> frutos ha <sup>-1</sup>	Maduros sanos	
38	00	STC	28 484	763	12 912	570.2
38	50	STC	31 685	1 214	20 603	875.9
38	100	STC	28 927	1 256	21 365	834.5
38	150	RFC	18 231	1 958	12 188	568.8
38	300	RFC	16 628	613	17 148	731.6
38	450	RFC	25 454	1 812	19 122	808.4
38	600	RFC	24 487	1 781	19 313	792.7
38	750	RFC	20 288	804	23 400	956.4
C.V. (%)			35	38	28	23
D.M.S. a 5%			4198	692	3625	125.1

STC = Superfosfato triple de calcio; RFC = Roca fosfórica calcinada de San Luis Potosí.

respectivamente. Cuando se aplicó al suelo RFC, los frutos afectados por pudrición negra fluctuaron de 613 a 1958, la menor caída de Chilillos (613) se registró con 300 kg ha<sup>-1</sup> de RFC. Sin embargo, al fertilizar con 750 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, se registraron 814 frutos afectados con éste hongo. Lo sobresaliente de esta información es que al no aplicar P se cuantificaron 763 frutos con pudrición negra y con la dosis de 300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como RFC se presentó una menor cantidad (613) de frutos con pudrición negra, con dicha dosis también se detectó la menor caída de chilillos.

Por lo que respecta a frutos maduros sanos, se observa en el mismo Cuadro 1 que se cosecharon de 12 mil a 23 mil frutos por hectárea, bajo las diferentes dosis y fuentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> estudiadas. Al fertilizar con superfosfato no hubo diferencia estadística entre las dosis de 50 y 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, al producir 20 mil y 21 mil frutos por ha<sup>-1</sup>; sin embargo, ambas dosis son estadísticamente superiores en 37 y 39% al testigo relativo a P, el cual produjo solamente 13 mil frutos. Al fertilizar con fosfato natural se produjeron de 12 mil a 23 mil frutos maduros sanos, y se observó una tendencia directamente proporcional al aumento en la dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como RFC; en tanto, la menor producción de frutos (12 183) se registró al aplicar 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> y que equivale a no aplicar P, ya que al no fertilizar con P se obtuvieron 12

912 frutos; mientras que la mayor producción de frutos (23 400) fue con 750 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como RFC, lo que equivale prácticamente a aplicar 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como superfosfato, ya que con éste se obtuvieron 20 603 frutos, producción estadísticamente igual a la obtenida con 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como STC, con 21 365 frutos y con 750 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como RFC. Las dosis de 50 y 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como STC, y de 750 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como RFC, fueron iguales entre sí pero estadísticamente superiores al resto de las dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en forma de RFC. Lo que destacó en esta medida de producción es que se observó un incremento en los frutos maduros sanos debido a un incremento en la dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada como STC o RFC; asimismo, se obtuvo la misma cantidad de frutos al fertilizar con 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como STC que con 750 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como RFC, es decir, 15 veces más de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como RFC. Se debe recordar que el STC es una fuente altamente soluble en comparación con la baja solubilidad de la fosforita, la cual podría manifestar un efecto residual prolongado que puede ser de 10 a 15 años y que depende de ciertos factores del suelo y clima, del manejo del terreno y de la composición mineralógica de la roca fosfórica.

En cuanto al rendimiento de grano seco (Cuadro 1) se obtuvieron rendimientos de 569 hasta 956 kg ha<sup>-1</sup>; se manifestó diferencia estadística con un coeficiente de variación de



23%. Se observó una tendencia de respuesta semejante a la obtenida con los frutos maduros sanos; al fertilizar con 50 y 100 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  como superfosfato triple de calcio se registraron rendimientos estadísticamente iguales, que fueron de 876 y 835 kg  $ha^{-1}$  de grano seco, respectivamente, y que muestran un incremento en rendimiento de 35 y 32% respecto al testigo sin P, con el cual se obtuvieron 570 kg  $ha^{-1}$  de grano seco.

Al fertilizar con roca fosfórica calcinada se obtuvieron rendimientos de 569 a 956 kg  $ha^{-1}$  de grano seco, con un aumento en el rendimiento, conforme aumentó la dosis de  $P_2O_5$  como RFC; el menor rendimiento (569 kg  $ha^{-1}$  de grano seco) se registró al fertilizar con 150 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  y el mayor rendimiento (956 kg de grano/ha) fue con 750 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  como RFC, con una diferencia estadísticamente significativa de 387 kg  $ha^{-1}$  de grano seco. Al relacionar las 23 400 mazorcas o frutos maduros sanos con el máximo rendimiento de grano seco, se tiene que por cada kg de  $P_2O_5$  como RFC se produjeron alrededor de 31 frutos, mientras que en rendimiento de grano el incremento fue de 1.275 kg por cada kg de  $P_2O_5$  como RFC; en tanto, por cada kg de  $P_2O_5$  como STC, considerando a la dosis de 50 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ , se produjeron 412 frutos maduros sanos y 17.520 kg de grano seco, con una diferencia positiva de 381 frutos, y 16.245 kg de grano seco entre aplicar un kg de  $P_2O_5$  como STC y no aplicar P como RFC. La eficiencia del STC respecto a la RFC es de 92.5 y 92.7% en frutos sanos y rendimiento de grano seco, respectivamente, por cada kilogramo de  $P_2O_5$  aplicado al suelo. Además, se observa una diferencia de 386.2 kg de grano seco entre fertilizar con 750 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  como RFC y no aplicar P. Sobresale de lo anterior que la roca fosfórica calcinada es mucho menos eficiente que el superfosfato triple de calcio; no se observó diferencia estadística entre aplicar 50 kg de  $P_2O_5$  como STC y 750 kg de  $P_2O_5$  como RFC para obtener 876 y 956 kg  $ha^{-1}$  de grano seco, respectivamente. Se requiere aplicar al suelo 15 veces más de  $P_2O_5$  como RFC en comparación con lo requerido de  $P_2O_5$  como STC.

En la Figura 1 se puede observar y comparar el efecto de la roca fosfórica calcinada y del superfosfato triple de calcio sobre el rendimiento de grano seco.

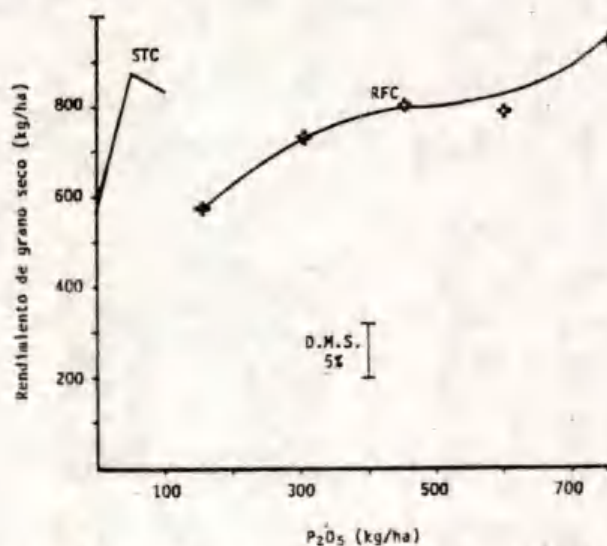


Figura 1. Rendimiento de grano seco de cacao Patastillo Ceylán fertilizado con superfosfato triple de calcio (STC) y roca fosfórica calcinada (RFC) como fuentes de fósforo en el norte de Chiapas.

El análisis económico que mostró mayor eficiencia en ingresos netos, fue con la dosis de 50 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  como superfosfato triple de calcio.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados se concluye que la roca fosfórica calcinada de San Luis Potosí es mucho menos eficiente que el superfosfato triple de calcio, al requerirse hasta 15 veces más de  $P_2O_5$  como roca fosfórica, para tener prácticamente la misma producción de grano seco de cacao obtenida al fertilizar con superfosfato, con una relación anual de 1:15 kg de  $P_2O_5$  como STC respecto al  $P_2O_5$  como RFC.

Por cada kilogramo de  $P_2O_5$  como RFC el rendimiento de grano seco fue de 1.3 kg, y por cada kg de  $P_2O_5$  como STC fue de 17.5 kg. Esta situación es similar con la producción de frutos fisiológicamente maduros y sanos.

No se encontró una relación definida en la menor o mayor cantidad de chilillos con marchitamiento prematuro y frutos afectados con *P. palmivora* respecto a la menor o mayor dosis de  $P_2O_5$  como RFC o STC.

Económicamente es recomendable fertilizar el cacao con superfosfato triple de calcio como

fuelle de fósforo, por su mayor tasa de retorno al capital variable.

#### LITERATURA CITADA

- BLACK, C.A. 1975. Relaciones suelo-planta. Tomo II. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
- COLLINGS, G.H. 1958. Origen y empleo de los fertilizantes minerales. Fertilizantes Comerciales.
- GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- JACOB, A. y H.V. UEXKULL. 1973. Fertilización. 4a. ed. Edic. Euroamericanas. México.
- SAUCHELLI, V. 1966. Química y tecnología de los fertilizantes. Edit. Continental. México.
- WOODHOUSE, W.W. 1949. Comparison of rock phosphate and superphosphate on crop yields. A summary of data. North Carolina Agr. Exp. Sta. Circ. 148.

## EVALUACION DE ROCA FOSFORICA CON *Brachiaria decumbens* EN SUELOS ACIDOS<sup>1</sup>

Phosphate Rock Evaluation with *Brachiaria decumbens* in Acid Soils

Laureano Pastrana A.

Investigador en Fertilidad de Suelos del CEFAP-Huimanguillo.  
INIFAP. SARH. MEXICO.

*Palabras clave:* Superfosfato, Fósforo asimilable, Forrajes.

*Index words:* Superphosphate, Available phosphorus, Forage crops.

### RESUMEN

Los ensayos se establecieron en octubre de 1987 en suelos de sabana abierta y de "lomerío", en Huimanguillo, Tabasco, en un ecosistema de bosque húmedo tropical. Los factores estudiados fueron: 1) fuentes de fósforo: roca fosfórica (RF) y superfosfato triple (SFT); 2) niveles de fósforo: 35, 70, 140 y 280 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> y 3) métodos de aplicación: banda (B), voleo incorporado (VI) y voleo sin incorporar (VSI). El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 x 4 x 3 con cuatro repeticiones. Se incluyeron dos tratamientos adicionales; un testigo sin fósforo y otro con aplicaciones anuales de 70 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> como SFT. La gramínea forrajera utilizada fue *Brachiaria decumbens*. La variable de respuesta evaluada fue la producción de materia seca. Se presenta información de tres años.

1. La información de los dos primeros años fue generada en convenio con ROCA FOSFORICA MEXICANA, S.A. y el INIFAP.

Recibido 02-94.

Los resultados muestran que la RF, durante los tres años, incrementó significativamente el rendimiento de materia seca en comparación con el testigo sin fósforo. En el primer año hubo diferencias significativas entre las fuentes de fósforo, SFT fue más eficiente. En el segundo y tercer año, la RF igualó e incluso superó a la fuente hidrosoluble. La respuesta a niveles de fósforo como RF fue significativa, la máxima producción de materia seca se obtuvo con 263 y 189 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> para sabana abierta y lomerío, respectivamente. En métodos de aplicación hubo diferencias significativas en el primer año; los métodos VI y VSI fueron los mejores. En el segundo y tercer año resultaron ser indistintos. El efecto residual de la RF igualó e incluso superó al efecto residual del SFT. La aplicación anual de fósforo fue mejor que el efecto residual de RF y SFT.

### SUMMARY

The field experiments were established on October 1987 on soils of open and sloping savanna in Huimanguillo, Tabasco, in a humid tropical forest ecosystem. The factors under study were: 1) phosphorus sources: phosphate rock (PR), and triple superphosphate (TSP); 2) phosphorus levels: 35, 70, 140, and 280 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, and 3) fertilizer application methods: banded (B), broadcast incorporated (BI), and broadcast not incorporated (BNI).

The experimental design was a completely randomized block with a factorial arrangement 2 x 4 x 3, and four replications. Two additional treatments were included, a check without phosphorus and a second treatment with annual applications of 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> as TSP. The forage gramineae used was *Brachiaria decumbens*; dry matter yield was the response variable evaluated. Information of three years is presented.

The results show that during the three years, PR significantly increased dry matter yield when compared with the check treatment without phosphorus. On the first year there were significant differences among phosphorus sources, with TSP being the most efficient source. On the second and third year, PR equalized and even surpassed the water soluble source. Response to phosphorus levels applied as PR was significant; the highest dry matter production was obtained with 263 and 189 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> for open savanna and sloping savanna, respectively. During the first year there were significant differences among fertilizer application methods, BI and BNI being the best methods. No differences on application methods were detected on the second and third year. The residual effect of PR was similar or even higher than that of TSP. The annual phosphorus application was better than the residual effect of PR and TSP.

## INTRODUCCION

Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, cubren una superficie de 140 000 ha y representan 29% de la superficie de los suelos ácidos del territorio estatal.

Los suelos a los que se hace referencia, se caracterizan por su extrema acidez y bajos contenidos de fósforo asimilable para los cultivos en general. La causa de los bajos niveles de fósforo aprovechable se debe a la alta capacidad de fijación de fósforo de estos suelos, la cual está asociada con el contenido y tipo de arcilla, además de la presencia de óxidos de Fe y Al. Como consecuencia de lo anterior, el fósforo es un factor limitante en el establecimiento y producción de forraje de pastos mejorados, por lo que se requieren dosis altas de fósforo para obtener buenos rendimientos cuando estos suelos son incorporados a la producción (Pastrana, 1985).

La estrategia que se ha propuesto para resolver el problema de fósforo es recomendar el uso de fuentes de fósforo de baja reactividad, como es el caso de la roca fosfórica. Varios trabajos sobre el uso de roca fosfórica en la producción de pastos en suelos ácidos de América del Sur, han mostrado que el empleo de ésta resulta atractivo, tanto por su eficiencia agronómica como por su valor económico. Además, debido a su baja reactividad en el suelo, su efecto residual en el suministro de fósforo puede ser mayor que el de los superfosfatos (CIAT, 1977, 1978, 1979; Hammond *et al.*, 1982; López *et al.*, 1991; NCSU, 1974, 1975). En México también se ha evaluado en la producción de pastos a la roca fosfórica proveniente de depósitos nacionales. Los resultados han mostrado que al principio la roca fosfórica es menos eficiente que el superfosfato triple, sin embargo, con el tiempo puede llegar a igualar, e incluso a superar, a los superfosfatos (Martínez, 1986; Pastrana, 1985, 1990; Pérez, 1986).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar a la roca fosfórica como fuente de fósforo en la producción de pastos, determinar el nivel de fósforo con el cual se obtiene la máxima producción, determinar el mejor método de aplicación de la roca fosfórica y evaluar su efecto residual.

## MATERIALES Y METODOS

En octubre de 1987 se establecieron dos ensayos en terrenos de productores cooperantes, uno en sabana abierta y el otro en lomerío.

**Localización.** El área de estudio se ubica en la sabana de Huimanguillo, Tabasco, a 17°47' de latitud norte y 93°38' de longitud oeste, dentro del ecosistema de bosque húmedo tropical.

**Clima.** El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (1973), es Am(f) con lluvias durante el verano y precipitación promedio anual mayor a 2000 mm; los meses de marzo, abril y mayo son los de mínima precipitación, la temperatura media anual es de 26.5 °C.

**Suelos.** La sabana abierta tiene topografía casi plana. Los suelos son profundos; los primeros horizontes son de textura media con

buen drenaje interno y los más profundos son arcillosos con drenaje deficiente. La reacción del suelo en el horizonte superficial (0 a 20 cm) es ácida (pH de 4.5, relación 1:2 en  $H_2O$ ). El contenido de fósforo asimilable es muy pobre (2 ppm, Bray 1). El contenido de bases intercambiables es muy bajo: 0.35, 0.27 y 0.09 meq  $100\text{ g}^{-1}$ , de Ca, Mg y K, respectivamente. La saturación de aluminio es de 74.5%. Los suelos en los lomeríos tienen topografía ondulada con pendientes de 1 a 8%, son profundos; los primeros horizontes son de textura media y los siguientes son de textura arcillosa. El pH en el horizonte superficial es de 5.2 (relación 1:2 en  $H_2O$ ). El fósforo asimilable es bajo (4 ppm, Bray 1). El contenido de bases intercambiables es bajo: 2.2, 0.7 y 0.07 meq  $100\text{ g}^{-1}$ , de Ca, Mg y K, respectivamente, y la saturación de aluminio es de 15.8%. Los suelos de ambos sitios se clasifican como Ultisoles (Palma *et al.*, 1985).

**Metodología.** Las fuentes de fósforo estudiadas fueron: 1) roca fosfórica (RF) proveniente de San Juan de la Costa, Baja California Sur (8.4% de  $P_2O_5$  soluble en citrato y con 30.5% de  $P_2O_5$  total), con granulometría tipo industrial de -35+150 mallas) y 2) superfosfato triple (SFT), como fuente testigo de fósforo hidrosoluble. Los niveles de fósforo fueron: 35, 70, 140 y 280 kg de  $P_2O_5\text{ ha}^{-1}$ . Los métodos de aplicación fueron: banda (B), voleo incorporado (VI) y voleo sin incorporar (VSI). La aplicación de las fuentes de fósforo en el método voleo incorporado se hizo antes de sembrar el pasto y se incorporaron los materiales con azadón en la capa superficial del suelo. En los métodos en banda y voleo sin incorporar, la aplicación se hizo después de sembrar el pasto. En el método de banda, la aplicación se hizo a 15 cm de profundidad y se cubrió con un poco de suelo; en el método sin incorporar, ésta se hizo sobre la superficie del suelo.

El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos  $2 \times 4 \times 3$ , con cuatro repeticiones. Se incluyeron dos tratamientos adicionales: un testigo sin fósforo y otro con aplicaciones anuales de fósforo de 70 kg de  $P_2O_5\text{ ha}^{-1}$  como superfosfato triple (SFT<sub>AA</sub>), de tal manera que se pudiera inferir sobre el efecto residual de la roca fosfórica (RF<sub>R</sub>) y del superfosfato triple (SFT<sub>R</sub>).

La gramínea forrajera utilizada fue el pasto regionalmente conocido como Chontalpo

(*Brachiaria decumbens*). Como material de siembra se utilizaron cepas con raíz, la siembra se hizo con espeque, a 1 m entre hileras y a 0.5 m entre cepas. La fertilización con nitrógeno fue constante, se aplicaron 25 kg N  $ha^{-1}$  como urea después de cada corte, con un total de 125 kg de N  $ha^{-1}\text{ año}^{-1}$ .

#### Cortes del pasto

Los cortes de evaluación se realizaron después del corte de uniformidad, el cual se hizo cuando se tuvo 85% de cubrimiento. Cada corte se realizó en promedio cada dos meses, sin embargo, fue variable, ya que dependió de la recuperación del pasto durante las épocas del año. La variable de respuesta fue el rendimiento de materia seca (MS). Se presenta información de tres años.

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### Efecto de fuentes de fósforo

En los Cuadros 1, 2 y 3 se presentan los rendimientos de materia seca del primero, segundo y tercer año, respectivamente, para los suelos de sabana abierta. En el Cuadro 4 se presenta el rendimiento total de los tres años. En el primer año la producción de materia seca (promedio de niveles de fósforo y métodos de aplicación) mostró diferencias altamente significativas entre fuentes de fósforo ( $P < 0.01$ ). La fuente de fósforo hidrosoluble fue más eficiente que la de baja reactividad, el SFT incrementó la producción en 222% y la RF en 124% en comparación con el testigo sin fósforo. En el segundo y tercer año hubo una reducción de la producción de materia seca en relación con el primer año, no hubo diferencias significativas entre la fuente hidrosoluble y la de baja reactividad. El rendimiento de materia seca total de tres años mostró diferencias significativas entre fuentes de fósforo. El SFT resultó la mejor fuente.

En los Cuadros 5, 6 y 7 se presentan los rendimientos de materia seca del primero, segundo y tercer año, respectivamente, para suelos de lomerío. El Cuadro 8 muestra el rendimiento de tres años. En el primer año hubo diferencias significativas entre fuentes de fósforo ( $P > 0.01$ ). La mejor fuente fue la hidrosoluble; el SFT incrementó la producción de materia seca en 60% y la RF en 31%, en comparación con el testigo sin fósforo. En el

segundo y tercer año, prácticamente no hubo diferencias significativas entre fuentes de fósforo. El rendimiento total de tres años mostró diferencias significativas entre fuentes de fósforo; la fuente hidrosoluble fue la mejor.

#### Efecto de niveles de fósforo

En los Cuadros 1, 2, 3 y 4 se muestran los rendimientos de materia seca de tres años consecutivos de cortes y el total de tres años para los suelos de sabana abierta. En estos se puede observar claramente la influencia de los niveles de fósforo sobre el rendimiento de materia seca. Tal información indica que la respuesta de la gramínea forrajera a los niveles de fósforo fue positiva y altamente significativa en los tres años consecutivos de cortes y el total de tres años. Las mayores producciones de materia seca se obtuvieron con los niveles más altos de fósforo, 140 y 280 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ . El testigo sin fósforo, produjo los rendimientos significativamente más bajos. La respuesta tan marcada a los

niveles de fósforo está asociada a los bajos contenidos de fósforo asimilable en el suelo, lo cual confirma que el fósforo en dichos suelos es un factor limitante en el establecimiento y producción de forraje de pastos mejorados. El efecto residual de los niveles de fósforo de la RF igualó, sin llegar a superar, al efecto residual de la fuente hidrosoluble. La aplicación anual de fósforo como SFT no superó al efecto residual del nivel de 280 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  como RF y SFT.

Con el rendimiento total de materia seca de los tres años se hicieron regresiones y correlaciones para determinar los niveles de fósforo con los cuales se obtuvo la máxima producción de forraje. El análisis de regresión mostró que la RF y el SFT se ajustaron a los siguientes modelos matemáticos:  $Y = 11.2 + 0.10 X - 1.9 X 10^{-4} X^2$  con  $r^2 = 0.51^{**}$  para RF y  $Y = 13.2 + 0.13 X - 2.5 X 10^{-4} X^2$  con  $r^2 = 0.65^{**}$  para SFT. Los niveles de fósforo así determinados fueron de

Cuadro 1. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de sabana abierta, Huimanguillo, Tabasco (Primer año, suma de cinco cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		----- $P_2O_5$ (kg $ha^{-1}$ ) -----					
		35	70	140	280		
		----- t $ha^{-1}$ -----					
RF	B <sup>b</sup>	8.2	7.9	9.6	11.2	9.1	10.1 <sup>b</sup>
	VI <sup>a</sup>	9.2	9.0	12.6	14.7	11.3	
	VSI <sup>a</sup>	7.1	8.6	12.0	12.2	9.9	
	$\bar{X}$	8.1	8.5	11.4	12.7		
SFT	B	9.1	13.1	14.1	19.2	13.8	14.5 <sup>a</sup>
	VI	10.5	12.3	17.3	19.5	14.9	
	VSI	10.3	13.4	15.5	19.9	14.7	
	$\bar{X}$	9.9	12.9	15.6	19.5		
Promedio		9.0 <sup>c</sup>	10.7 <sup>c</sup>	13.3 <sup>b</sup>	16.1 <sup>a</sup>		

DMSHi = 0.93 (t  $ha^{-1}$ )

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes

1) Datos obtenidos del 21 de diciembre de 1987 al 7 de diciembre de 1988

2) Testigo sin fósforo (4.5 t  $ha^{-1}$ )

RF=roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

Cuadro 2. Rendimiento de materia seca *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de sabana abierta, Huimanguillo, Tabasco (Segundo año, suma de cinco cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2,3</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )					
		35	70 <sup>5</sup>	140	280		
		t ha <sup>-1</sup>					
RF	B <sup>b</sup>	2.8	4.6	6.4	7.6	5.3	6.3 <sup>a</sup>
	VI <sup>a</sup>	5.5	6.0	7.1	8.4	6.7	
	VSI <sup>a</sup>	4.8	5.0	7.6	8.0	6.5	
	$\bar{X}$	4.3	5.4	7.0	8.0		
SFT	B	4.7	6.2	6.7	8.0	6.4	6.8 <sup>a</sup>
	VI	4.8	7.0	9.0	8.3	7.2	
	VSI	4.8	7.1	7.2	8.5	6.9	
	$\bar{X}$	4.7	6.7	7.6	8.2		
Promedio		4.5 <sup>c</sup>	6.1 <sup>c</sup>	7.3 <sup>a</sup>	8.1 <sup>a</sup>		

DMSHi= 0.57 (t ha<sup>-1</sup>)

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes

1) Datos obtenidos del 7 de diciembre de 1988 al 29 de diciembre de 1989

2) Testigo sin fósforo (1.9 t ha<sup>-1</sup>)

3) Aplicación anual de fósforo (7.6 t ha<sup>-1</sup>)

RF=roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

Cuadro 3. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de sabana abierta, Huimanguillo, Tabasco (Tercer año, suma de cuatro cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2,3</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )					
		35	70 <sup>5</sup>	140	280		
		t ha <sup>-1</sup>					
RF	B <sup>b</sup>	1.5	2.5	2.9	4.3	2.8	3.1 <sup>a</sup>
	VI <sup>a</sup>	3.0	2.8	3.9	4.1	3.4	
	VSI <sup>a</sup>	2.3	3.2	3.7	3.7	3.2	
	$\bar{X}$	2.2	2.8	3.5	4.0		
SFT	B	1.8	3.1	3.2	4.3	3.1	3.2 <sup>a</sup>
	VI	1.8	3.1	4.0	4.0	3.2	
	VSI	3.1	3.1	3.3	3.9	3.3	
	$\bar{X}$	2.2	3.1	3.5	4.9		
Promedio		2.2 <sup>c</sup>	2.9 <sup>b</sup>	3.5 <sup>ab</sup>	4.0 <sup>a</sup>		

DMSHi= 0.34 (t ha<sup>-1</sup>)

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes

1) Datos obtenidos del 20 de diciembre de 1989 al 6 de diciembre de 1990

2) Testigo sin fósforo (1.9 t ha<sup>-1</sup>)

3) Aplicación anual de fósforo (3.3 t ha<sup>-1</sup>)

RF=roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

Cuadro 4. Rendimiento total de materia seca de *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de sabana abierta, Huimanguillo, Tabasco (Total de tres años, suma de catorce cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2,3</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )					
		35	70	140	280		
		t ha <sup>-1</sup>					
RF	B <sup>b</sup>	12.5	15.1	18.5	23.2	17.3	19.6 <sup>b</sup>
	VI <sup>a</sup>	17.7	17.8	24.2	27.3	21.7	
	VSI <sup>a</sup>	14.3	17.7	23.3	24.0	19.8	
	$\bar{X}$	14.8	16.8	22.0	24.8		
SFT	B	15.7	22.4	24.1	31.5	23.4	24.6 <sup>a</sup>
	VI	17.1	22.5	30.4	31.8	25.4	
	VSI	18.2	23.6	26.1	32.3	25.0	
	$\bar{X}$	17.0	22.8	26.8	31.8		
Promedio		15.9 <sup>d</sup>	19.8 <sup>c</sup>	24.4 <sup>b</sup>	28.3 <sup>a</sup>		

DMSH<sub>i</sub> = 1.4 (t ha<sup>-1</sup>)

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes.

1) Datos obtenidos del 21 de diciembre de 1987 al 6 de diciembre de 1990

2) Testigo sin fósforo (8.3 t ha<sup>-1</sup>)3) Aplicación anual (22.7 t ha<sup>-1</sup>)

RF=roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

263 y 260 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> para la RF y SFT, respectivamente.

En los Cuadros 5, 6, 7 y 8 se presentan los rendimientos de materia seca de tres años para los suelos de lomerío. En estos cuadros puede observarse el efecto de los niveles de fósforo sobre el rendimiento de materia seca. Dicha información muestra que la respuesta de la gramínea forrajera a los niveles de fósforo fue positiva y altamente significativa, en los tres años consecutivos de cortes y el total de tres años. Las mayores producciones se obtuvieron con los niveles más altos; 140 y 280 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, y el testigo sin fósforo produjo los rendimientos significativamente más bajos. La respuesta tan marcada a los niveles de fósforo, está asociada al bajo contenido de fósforo asimilable en el suelo, lo cual confirma que el fósforo es un factor que está limitando la producción de forraje de

pastos mejorados. El efecto residual de los niveles de fósforo como RF llegó a igualar, e incluso a superar, al efecto residual del SFT. La aplicación anual de fósforo como SFT superó al efecto residual de los niveles de fósforo como RF y SFT.

El rendimiento total de materia seca de los tres años se utilizó para hacer regresiones y correlaciones, y así estimar los niveles de fósforo con los cuales se obtuvo la máxima producción de forraje. El análisis de regresión mostró que las fuentes de P estudiadas se ajustaron a los siguientes modelos matemáticos:  $Y = 33.5 + 0.129 X - 3.4 X \cdot 10^{-4} X^2$  con  $r^2 = 0.11^{**}$  para roca fosfórica, y  $Y = 34.6 + 0.15 X - 3.4 X \cdot 10^{-4} X^2$  con  $r^2 = 0.34^{**}$  para SFT. Los niveles de fósforo así obtenidos fueron 189 y 220 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> para la RF y el SFT, respectivamente.



Cuadro 5. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de lomerío, Huimanguillo, Tabasco (Primer año, suma de cinco cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2,3</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		----- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
		35	70 <sup>5</sup>	140	280		
----- t ha <sup>-1</sup> -----							
RF	B <sup>b</sup>	13.8	15.6	15.8	16.1	15.3	16.6 <sup>b</sup>
	VI <sup>a</sup>	12.8	15.6	18.2	19.3	16.4	
	VSI <sup>a</sup>	17.8	17.8	18.0	18.8	18.1	
	$\bar{X}$	14.8	16.3	17.3	18.0		
SFT	B	18.4	17.8	22.0	21.2	19.8	20.3 <sup>a</sup>
	VI	18.5	17.6	22.8	22.6	20.3	
	VSI	18.3	19.6	22.6	22.5	20.7	
	$\bar{X}$	18.3	18.3	22.4	22.1		
Promedio		16.6 <sup>b</sup>	17.3 <sup>b</sup>	19.9 <sup>a</sup>	20.0 <sup>a</sup>		

DMSHi = 0.95 (t ha<sup>-1</sup>)

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes

1) Datos obtenidos del 28 de diciembre de 1987 al 13 de diciembre de 1988

2) Testigo sin fósforo (12.7 t ha<sup>-1</sup>)

RF = roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

Cuadro 6. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de lomerío, Huimanguillo, Tabasco (Segundo año, suma de cinco cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2,3</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		----- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
		35	70 <sup>5</sup>	140	280		
----- t ha <sup>-1</sup> -----							
RF	B <sup>b</sup>	16.0	15.9	18.2	14.0	16.0	16.0 <sup>b</sup>
	VI <sup>a</sup>	14.0	14.4	16.5	16.4	15.3	
	VSI <sup>a</sup>	14.0	18.0	17.3	16.7	16.5	
	$\bar{X}$	14.6	16.1	17.3	16.0		
SFT	B	14.5	15.2	17.9	17.8	16.3	16.9 <sup>a</sup>
	VI	15.9	15.0	18.8	18.9	17.1	
	VSI	14.4	15.9	19.1	19.0	17.1	
	$\bar{X}$	14.9	15.3	18.6	18.5		
Promedio		14.8 <sup>b</sup>	15.7 <sup>bc</sup>	17.9 <sup>a</sup>	17.1 <sup>ab</sup>		

DMSHi = 0.88 (t ha<sup>-1</sup>)

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes

1) Datos obtenidos del 13 de diciembre de 1988 al 29 de diciembre de 1989

2) Testigo sin fósforo (11.0 t ha<sup>-1</sup>)

3) Aplicación anual de fósforo (17.1 t ha<sup>-1</sup>)

RF = roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

Cuadro 7. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de lomerío, Huimanguillo, Tabasco (Tercer año, suma de cinco cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2,3</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		----- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
		35	70	140	280		
		----- t ha <sup>-1</sup> -----					
RF	B <sup>b</sup>	8.5	9.3	11.4	8.3	9.3	8.9 <sup>a</sup>
	VI <sup>a</sup>	7.4	6.6	10.7	8.8	8.3	
	VSI <sup>a</sup>	8.2	9.7	8.3	9.4	8.9	
	$\bar{X}$	8.0	8.5	10.1	8.8		
SFT	B	7.9	7.6	10.5	10.5	9.1	8.8 <sup>a</sup>
	VI	7.3	8.5	10.3	10.7	9.2	
	VSI	7.3	7.4	8.4	9.4	8.1	
	$\bar{X}$	7.5	7.8	9.7	10.2		
Promedio		7.7 <sup>c</sup>	8.1 <sup>bc</sup>	9.9 <sup>a</sup>	9.5 <sup>ab</sup>		

DMSHi = 0.76 (t ha<sup>-1</sup>)

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes

1) Datos obtenidos del 29 de diciembre de 1989 al 19 de diciembre de 1990

2) Testigo sin fósforo (5.3 t ha<sup>-1</sup>)3) Aplicación anual de fósforo (10.4 t ha<sup>-1</sup>)

RF = roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

Cuadro 8. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria decumbens* con RF y SFT en suelos de lomerío, Huimanguillo, Tabasco (Total de tres años, suma de 15 cortes)<sup>1</sup>.

Fuentes de fósforo	Métodos de aplicación	Rendimiento de materia seca <sup>2,3</sup>				Promedio	$\hat{Y}_i$
		----- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
		35	70	140	280		
		----- t ha <sup>-1</sup> -----					
RF	B <sup>b</sup>	38.4	40.9	45.3	38.5	40.7	41.5 <sup>b</sup>
	VI <sup>a</sup>	34.3	36.5	45.5	44.6	40.2	
	VSI <sup>a</sup>	40.1	45.6	43.7	45.0	43.6	
	$\bar{X}$	37.6	41.0	44.8	42.7		
SFT	B	40.9	40.6	50.4	49.6	45.3	46.0 <sup>a</sup>
	VI	41.8	41.2	51.9	52.3	45.8	
	VSI	40.1	42.9	50.1	51.0	46.0	
	$\bar{X}$	40.9	41.5	50.8	50.9		
Promedio		39.2 <sup>b</sup>	41.2 <sup>b</sup>	47.8 <sup>a</sup>	46.8 <sup>a</sup>		

DMSHi = 1.9 (t ha<sup>-1</sup>)

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes

1) Datos obtenidos del 28 de diciembre de 1987 al 19 de diciembre de 1990

2) Testigo sin fósforo (29.1 t ha<sup>-1</sup>)3) Aplicación anual de fósforo (49.5 t ha<sup>-1</sup>)

RF = roca fosfórica; SFT = superfosfato triple;

B = banda; VI = voleo incorporado; VSI = voleo sin incorporar.

Los resultados que se presentaron muestran que la RF de Baja California tiene cierta capacidad para promover la producción en la gramínea forrajera. En el primer año la eficiencia de la RF fue inferior al SFT; sin embargo, en el segundo y tercer año igualó, e incluso superó, a la fuente hidrosoluble. La información anterior concuerda con lo que se ha informado de suelos ácidos del trópico de América (CIAT, 1977, 1978; Hammond *et al.* 1982; Martínez, 1986; NCSU, 1974, 1975; Pastrana, 1985, 1990; Pérez, 1986) y además indica que el material puede ser aplicado en forma directa al suelo en la producción de pastos.

#### Efecto de métodos de aplicación

Los efectos del método de aplicación de las fuentes de fósforo sobre el rendimiento de materia seca en suelos de sabana abierta y de lomerío, han sido presentados en los cuadros a los que se ha hecho referencia anteriormente. En el primer año, tanto en suelos de sabana abierta como en lomerío, los mejores métodos fueron VI y VSI, lo cual es importante, ya que significa que la RF como fuente de fósforo de baja reactividad puede aplicarse en forma directa sobre la superficie del suelo en praderas establecidas; dicha información concuerda con lo señalado por el programa de pastos tropicales (CIAT, 1979). En el segundo y tercer año, los métodos de aplicación ya no tuvieron ningún efecto significativo sobre la producción de materia seca; es decir, resultaron ser indistintos.

#### CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se dan las siguientes conclusiones:

- 1) La RF, tanto en suelos de sabana abierta como en los de lomerío, en los tres años de evaluación, incrementó significativamente la producción de materia seca en comparación con el testigo sin fósforo. En el primer año su eficiencia fue más baja que la del SFT, sin embargo, en el segundo y tercero logró igualarlo e incluso superarlo en los suelos de lomerío.
- 2) La respuesta a niveles de fósforo como RF fue significativa en ambos sitios. La máxima producción de materia seca se obtuvo con 263 y 189 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  para los suelos de sabana abierta y de lomerío, respectivamente. El testigo sin fósforo siempre presentó los rendimientos más bajos de materia seca.
- 3) Los métodos de aplicación VI y VSI incrementaron significativamente los rendimientos de materia seca en ambos sitios, en el primer año de evaluación. En el segundo y tercer año, la eficiencia de los métodos resultó ser indistinta.
- 4) El efecto residual del fósforo como RF, en el segundo y tercer año, en suelos de sabana abierta igualó al efecto residual de la fuente hidrosoluble y en los suelos de lomerío igualó, e incluso superó, al efecto residual del SFT.
- 5) La aplicación anual de 70 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  como SFT, en suelos de sabana abierta, no superó al efecto residual del fósforo como RF o como SFT. En los suelos de lomerío esta aplicación fue mejor que el efecto residual de la RF y el SFT.

#### LITERATURA CITADA

- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1977. Informe anual. Cali, Colombia.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1978. Informe anual. Cali, Colombia.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1979. Informe anual. Cali, Colombia.
- GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D.F.
- HAMMOND, L.L., L.A. LEON y L.G. RESTREPO. 1982. Efecto residual de las aplicaciones de 7 fuentes de fósforo sobre el rendimiento de *Brachiaria decumbens* en un Oxisol de Carimagua. Suelos Ecuatoriales V(XII): 196-206. Memorias del VII Coloquio de Suelos. Villavicencio, Colombia.
- LOPEZ, P.A., E. CASANOVA, L.A. CHACON, M. PAZ y J.R. GUERRERO. 1991. Efecto residual de rocas fosfóricas del estado Tachira sobre *Brachiaria decumbens*. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 17: 317-324.
- MARTINEZ R., A. 1986. Evaluación de roca fosfórica de Baja California con pasto señal (*Brachiaria decumbens*) en un suelo Ultisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas, Tabasco. (Tesis de Licenciatura).
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. 1974. Informe anual. Programa Internacional de Suelos Tropicales. Soil Science Department. North Carolina State University. Raleigh, N.C.
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. 1975. Annual report. Agronomic-Economic Research on Tropical Soils. Soil Science Department. North Carolina State University. Raleigh, N.C.

PALMA A., L., J. CISNEROS, A. TRUJILLO, N. GONZALEZ y J.E. SERRANO. 1985. Caracterización de los suelos de Tabasco: uso actual, potencial y taxonomía. Gobierno del estado de Tabasco. Villahermosa, Tab.

PASTRANA A., L. 1985. Evaluación de roca fosfórica Baja California con pasto estrella de Africa (*Cynodon plectostachyus*) en un suelo Ultisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas, Tabasco. (Tesis de Maestría).

PASTRANA A., L. 1990. Evaluación de roca fosfórica con pasto Chontalpo (*Brachiaria decumbens*) Llanero (*Andropogon gayanus*) en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Informe de Investigación. Campo Experimental Forestal y Agropecuario de Huimanguillo. Huimanguillo, Tabasco.

PEREZ H., N. 1986. Evaluación de roca fosfórica Baja California con pasto *Andropogon gayanus* Kunth en un suelo Ultisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas, Tabasco. (Tesis de Licenciatura).

encuadrado a pH de 5.5 se les aplicaron los tratamientos con RF y roca de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Al cabo de un período de incubación de tres meses los suelos secados al aire, se analizaron para determinar contenidos de P y Ca disponibles y el aluminio intercambiable. Con estos análisis se realizó un ensayo con el pasto de Brachiaria plectostachyus, al cual se le hicieron dos cortes cada 45 días después de su establecimiento. Los resultados indican diferencias altamente significativas entre tratamientos tanto para las variables de suelos estudiadas como para el rendimiento de materia seca. Los datos reflejan el comportamiento diferencial de la roca en función de las propiedades de los suelos. Hubo una mayor reacción de la RF en los suelos al pH original, lo que se atribuye a un incremento en el fósforo disponible.

SUMMARY

The effect of pH, cation exchange capacity, and phosphorus available capacity of the soil on the agronomic efficiency of phosphate rock (PR) and its soil variability in different soils of Tabasco, Mexico, was studied. The study was considered important to carry out studies with the purpose of contributing to organic rock PR use under different soil conditions. The study consisted of a greenhouse incubation assay with five soils from Tabasco, Mexico, and a phosphate rock (PR) application of 0, 500, 1000, 1500, and 2000 kg ha<sup>-1</sup>. After a three-month incubation period, the soils were dried in the air and analyzed to determine available P and Ca contents and exchangeable aluminum. With these analyses, a trial with *Brachiaria plectostachyus* was carried out, to which two cuts were made every 45 days after its establishment. The results indicate highly significant differences between treatments for both soil variables and dry matter yield. The data reflect the differential behavior of the rock in function of the soil properties. There was a greater reaction of the PR in the soils at the original pH, which is attributed to an increase in available phosphorus.

encuadrado a pH de 5.5 se les aplicaron los tratamientos con RF y roca de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Al cabo de un período de incubación de tres meses los suelos secados al aire, se analizaron para determinar contenidos de P y Ca disponibles y el aluminio intercambiable. Con estos análisis se realizó un ensayo con el pasto de Brachiaria plectostachyus, al cual se le hicieron dos cortes cada 45 días después de su establecimiento. Los resultados indican diferencias altamente significativas entre tratamientos tanto para las variables de suelos estudiadas como para el rendimiento de materia seca. Los datos reflejan el comportamiento diferencial de la roca en función de las propiedades de los suelos. Hubo una mayor reacción de la RF en los suelos al pH original, lo que se atribuye a un incremento en el fósforo disponible.

RESUMEN

El efecto del pH, la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de absorción de fósforo disponible de los suelos en la eficiencia agronomica de la roca fosfórica (RF) y su variabilidad en diferentes suelos de Tabasco, México, se estudió. Este estudio se consideró importante para realizar estudios con el propósito de contribuir a un mayor uso de la RF orgánica en diferentes condiciones de los suelos. El estudio consistió en un ensayo de incubación en casa de vidrio con cinco suelos de Tabasco, México, y una aplicación de roca fosfórica (RF) de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Después de un período de incubación de tres meses, los suelos se secaron al aire y se analizaron para determinar los contenidos de P y Ca disponibles y el aluminio intercambiable. Con estos análisis se realizó un ensayo con el pasto *Brachiaria plectostachyus*, al cual se le hicieron dos cortes cada 45 días después de su establecimiento. Los resultados indican diferencias altamente significativas entre tratamientos tanto para las variables de los suelos estudiados como para el rendimiento de materia seca. Los datos reflejan el comportamiento diferencial de la roca en función de las propiedades de los suelos. Hubo una mayor reacción de la RF en los suelos al pH original, lo que se atribuye a un incremento en el fósforo disponible.

**REACTIVIDAD DE LA ROCA FOSFORICA EN SUELOS CON  
CONTENIDOS DE CALCIO, GRADO DE ACIDEZ Y CAPACIDAD DE  
ADSORCION DE FOSFORO VARIABLES, Y SU EFECTO SOBRE LA RESPUESTA  
DEL PASTO *Brachiaria brizanta***

Phosphate Rock Reactivity in Soils Differing in Calcium  
Content, Degree of Acidity and Phosphorus Adsorption Capacity  
and its Effect on the Response of *Brachiaria brizanta*.

Isaura López de Rojas y Luis Nieves

Investigadores del IIAG-CENIAP-FONAIAP-Maracay

*Palabras clave:* Adsorción de P, Al intercambiable, Suelos ácidos, Encalado.

*Index words:* P adsorption, Exchangeable Al, Acid soils, Liming.

**RESUMEN**

Debido al efecto que tienen el pH, el contenido de calcio y fósforo, y la capacidad de adsorción de fósforo del suelo, sobre la eficiencia agronómica de la roca fosfórica (RF), y a la gran variabilidad que presentan, en estas propiedades, los suelos ácidos de Venezuela, lo cual condiciona la efectividad de este material, se consideró importante realizar un estudio con la finalidad de contribuir a orientar sobre su uso para diferentes condiciones de suelo. Con tal propósito se condujo un ensayo de incubación en invernadero con cinco suelos. Tres de Guárico: Iguana I (Ustoxic Quartzsammets, silicica isohipertérmica), Iguana II (Entic Chromusterts, arcilla muy fina, mixta, isohipertérmica) y Las Palmeras (Typic Paleustults). Uno de Cojedes: El Crucero (Oxic Paleustults). Y uno de Barinas, Ciudad Bolivia (Ultic Tropudalfs franca gruesa isohipertérmica). A estos suelos, sin cal y

encalados a pH de 5.5, se les aplicaron nueve tratamientos con RF a razón de 0, 500, 1000, 1500, y 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Al cabo de un período de incubación de tres meses, los suelos, secados al aire, se analizaron para determinar contenidos de P y Ca disponibles, pH y aluminio intercambiable. Con estos suelos se realizó un ensayo con el pasto de *Brachiaria brizanta*, al cual se le hicieron dos cortes cada 45 días después de su establecimiento. Los resultados indicaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, tanto para las variables de suelos estudiados como para el rendimiento de materia seca, lo que refleja el comportamiento diferencial de la roca en función de las propiedades de los suelos. Hubo una mayor reacción de la RF en los suelos al pH original, lo que se manifestó por un incremento en el fósforo disponible.

**SUMMARY**

Due to the effect of pH, calcium and phosphorus contents, and phosphorus adsorption capacity of the soil, on the agronomic efficiency of phosphate rock (PR); and the high variability in these properties observed on the acid soils of Venezuela, it was considered important to carry out a study with the purpose of contributing to orient about PR use under different soil conditions. The study consisted of a greenhouse incubation assay with five soils: three from Guarico,

Recibido 5-94.

i.e. Iguana I (Ustoxic Quarzipsamment, silicic isohyperthermic); Iguana II (Entic Chromustert, very fine clay, mixed isohyperthermic); and Las Palmeras (Typic Paleustult); one soil from Cojedes: El Crucero (Oxic Paleustult); and the last soil from Barinas, Ciudad Bolivia (Ultic Tropudalf, coarse loam isohyperthermic). Nine PR levels were applied to these soils, i.e., 0, 500, 1000, 1500, and 2000 kg ha<sup>-1</sup> without lime and the same PR rates with enough lime to raise pH to 5.5. After three months of incubation, the air dried soils were analyzed in order to determined contents of available P and Ca, pH and exchangeable aluminum. With these soils an assay was carried out using *Brachiaria brizanta* grass, to which two harvests were made every 45 days after planting. The results showew highly significant differences between treatments, not only among soil variables, but also on dry matter yields, reflecting a differential behavior of the rock as a function of the soils properties. A higher PR reactivity was found on the unlimed soils, as measured by the increase on the amount of available phosphorus.

## INTRODUCCION

La alternativa de utilizar roca fosfórica natural como fertilizante en los suelos ácidos del país que se encuentran con cultivos permanentes como pastos, frutales y otros cultivos arbóreos (pino, palma aceitera), es de gran importancia en la actualidad ya que el costo de los fertilizantes tradicionales se está incrementando debido a la reducción de los subsidios. Ante la posibilidad de promover el uso de esta fuente de fósforo, es importante profundizar en aspectos relacionados con la reactividad de la misma y su comportamiento en las diferentes condiciones que existen en los suelos ácidos de Venezuela. De éstos, que cubren aproximadamente 70% del país, 28% presenta acidez baja y fertilidad como limitantes principales (López *et al.*, 1987).

Como ha sido señalado por López y Comerma (1985), estos suelos tienen una amplia variabilidad en contenido de calcio, aluminio intercambiable, materia orgánica, textura, etc. En la literatura se ha señalado la influencia que tienen las propiedades mencionadas sobre la disolución de las rocas, así como en el contenido inicial de fósforo del suelo y la capacidad de adsorción del

fósforo de éste (López y Cori, 1987; Parish *et al.*, 1980; Smith y Sánchez, 1982). Esta disolución de la roca se ve favorecida cuando los niveles de calcio, fósforo en la solución del suelo y pH, son bajos (Chien, 1981). Martínez (1987) ha determinado que las rocas colombianas Huila y Pesca reaccionan mejor cuando el pH es de 5.5 o menos, la capacidad de adsorción menor de 45% y el contenido de P (Bray I) menor de 5 ppm.

En el país se han llevado a cabo trabajos en invernadero y campo que han puesto de manifiesto el comportamiento de la roca fosfórica en suelos de diferentes características (López y Cori, 1987; López *et al.*, 1991; López *et al.* 1990a; López *et al.*, 1990b; López, 1991). Debido a la importancia que tiene el efecto de la variabilidad de los suelos en el comportamiento de la roca fosfórica y de las implicaciones que esto tiene sobre las recomendaciones de dicha fuente fertilizante, se planteó este trabajo en cinco suelos ácidos para medir el efecto de las propiedades señaladas sobre la reacción de la RF y la respuesta del pasto *Brachiaria brizanta* a diferentes dosis de esta fuente. Se pretende que los resultados contribuyan a afinar criterios para recomendaciones en las diferentes situaciones estudiadas.

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se seleccionaron cinco suelos ácidos, con pH menor que 4.8, diferentes contenidos de calcio y aluminio intercambiable, y bajos en fósforo. De éstos, tres son del estado de Guárico: Iguana I (Ustoxic Quarzipsamments, silicica, isohipertérmica), Iguana II (Entic Chromusterts, arcillosa muy fina, mixta, isohipertérmica) (Matheus, 1987) y Las Palmeras (Typic Paleustults); uno del estado de Cojedes: El Crucero (Oxic Paleustults), y uno del estado de Barinas: Ciudad Bolivia (Ultic Tropudalfs, franca gruesa, isohipertérmica). Los suelos fueron analizados en el Laboratorio de Suelos del CENIAP, para determinar contenidos de calcio, fósforo, aluminio intercambiable, materia orgánica, potasio, textura y pH. También se les determinó la capacidad de adsorción de fósforo por las isotermas de Langmuir, de acuerdo con el procedimiento utilizado por Herrera (1984); se tomó un punto de la curva como índice de adsorción de fosfato (Bache y Williams, 1971; López y Burnham, 1974). Con

dichos suelos se estableció un ensayo, en condiciones de invernadero con nueve tratamientos, consistente en un proceso de incubación con dosis de roca fosfórica de Monte Fresco (II estrato) en cantidades de 0, 500, 1000, 1500, 2000 kg ha<sup>-1</sup>; duplicados de estos tratamientos se trataron previamente con Ca(OH)<sub>2</sub> en cantidades necesarias para elevar el pH del suelo hasta 5.5. Las dosis de Ca(OH)<sub>2</sub> se determinaron previamente para cada suelo, a través de las curvas de titulación con Ca(OH)<sub>2</sub> 0.03 N, según el procedimiento de Abruña y Vicente (1985) y López (1983).

Los suelos tratados con Ca(OH)<sub>2</sub> se incubaron a capacidad de campo por un mes; la cantidad de agua aplicada se determinó mediante las curvas de retención de humedad. Al cabo del período de incubación los suelos se secaron al aire y se les determinó el pH en agua (1:2.5), posteriormente se trataron con roca fosfórica con las mismas dosis antes indicadas; los tratamientos se hicieron por triplicado. Una vez aplicados los tratamientos de roca fosfórica a los suelos, éstos se incubaron húmedos a capacidad de campo en bolsas plásticas en cantidades de 3 kg por tratamiento. La incubación se mantuvo por tres meses al cabo de los cuales los suelos se secaron y analizaron para determinar el pH, calcio, fósforo por Bray I y Olsen, y aluminio

intercambiable. En estos suelos tratados se estableció un ensayo con plantas, con el pasto *Brachiaria brizanta* como cultivo indicador, para lo cual se hizo una aplicación basal de nitrógeno (60 kg ha<sup>-1</sup>) y potasio (30 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). El cultivo se estableció por semillas y se dejaron al entresaque dos plantas por pote; se hicieron dos cortes de la parte área del pasto: el primero, 45 días después del establecimiento, y el segundo, a 45 días del primero, en los cuales se determinó la materia seca. Los resultados, tanto de análisis de suelos como de los rendimientos de materia seca, fueron analizados estadísticamente para determinar la significación de los efectos de tratamientos sobre las variables estudiadas. Se hizo comparación de medias por la prueba de rangos múltiples de Duncan.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Como se aprecia en el Cuadro 1, los contenidos de arcilla en los suelos oscilan desde 2.4% (Iguana I) hasta 36.4% (Iguana II); con un nivel de interpretación bajo en materia orgánica, pero de contenidos variables; niveles bajos en fósforo disponible, y no obstante su acidez, los contenidos de calcio son de bajo a medio; la saturación con

Cuadro 1. Principales características físicas y químicas de los suelos.

Característica	Suelo				
	Iguana I	Iguana II	El Crucero	Las Palmeras	Ciudad Bolivia
pH (1:2.5, H <sub>2</sub> O)	4.5	4.6	4.2	4.5	4.8
Arena (%)	92.6	42.6	58.6	46.7	74.6
Arcilla (%)	2.4	36.4	17.4	18.2	10.4
Textura	Arenosa	Franco arcillosa	Franco arenosa	Franca	Franca arenosa
M.O (%)	0.4	1.7	1.0	1.4	1.3
P ppm (Olsen)	3.0	3.0	1.0	4.0	5.0
Al (meq 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>z</sup>	0.1	2.8	1.0	1.1	0.2
Ca (meq 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>z</sup>	0.1	0.8	0.3	0.3	1.8
Mg (meq 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>z</sup>	0.0	1.6	0.1	0.3	0.6
K (meq 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>z</sup>	0.0	0.4	0.1	0.0	0.4
Sat. Al (%) <sup>y</sup>	34.4	47.2	67.3	60.8	6.4
Indice de ads. de P <sup>x</sup>	4.6	44.8	18.3	180.4	18.1

z) Determinación en NH<sub>4</sub> O Ac pH 7.0

y) Calculado con base en la capacidad de intercambio de cationes efectiva

x) Determinado a través de la isoterma de adsorción de P de Langmuir (X/log C).

aluminio del complejo de intercambio es desde muy baja en el suelo de Ciudad Bolivia (6.4%), hasta muy alta en el suelo de El Crucero (67.3%). Las cantidades de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  necesarias para llevar el pH hasta 5.5 variaron desde 363 hasta 2765  $\text{kg ha}^{-1}$ , lo cual refleja la diferencia en la capacidad amortiguadora de los suelos. A través de un punto de las isothermas de adsorción de fósforo (adición de 150 ppm P) se obtuvo un índice de adsorción de P de los suelos, el cual reflejó que el suelo de Iguana I es el que presentó la más baja capacidad de adsorción de P, el de Iguana II y el de Las Palmeras tuvieron los mayores valores, mientras que los de El Crucero y Ciudad Bolivia presentaron valores intermedios.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos para cada uno de los suelos después del período de incubación con roca fosfórica, tanto para los suelos al pH original como para los tratados con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para llevar éste a 5.5, indican diferencias altamente significativas entre tratamientos (Cuadro 2). De los resultados obtenidos después de la incubación, se observó que hubo un mayor incremento de P en los suelos tratados con RF y el pH original (Figuras 1 y 2), en función de las dosis aplicadas.

El P disponible se incrementó a 4.8, 8.6, 5.3, 8.3 y 3.9 ppm en los suelos de Iguana I, Iguana II, El Crucero, Las Palmeras y Ciudad Bolivia, respectivamente, al comparar el testigo con el tratamiento de 2000  $\text{kg ha}^{-1}$  de RF.

Se observó una mayor reacción en los suelos de Iguana II, El Crucero y Las Palmeras, en

los cuales el P disponible se elevó a niveles medios, seguidos por el suelo de Iguana I, y por último Ciudad Bolivia; esto probablemente debido a la mayor acidez reflejada por la alta saturación de aluminio de los tres primeros, lo cual favorece la disolución de la RF, en tanto que en el suelo de Iguana I éste fue intermedio, y bajo en el suelo de Ciudad Bolivia; este último también presentó el mayor contenido de calcio. Este resultado también está asociado a la mayor capacidad de adsorción de P, fundamentalmente en los suelos de Las Palmeras e Iguana II, en relación con los otros suelos, lo cual incide en una mayor disolución de la roca.

Cuando los suelos se trataron previamente para llevar el pH hasta 5.5, se observó una disminución del fósforo disponible, la cual está asociada a los niveles de calcio disponible que se alcanzan con las dosis de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  aplicadas, de más del doble en casi todos los suelos (Cuadro 3). Los incrementos de fósforo fueron del orden de 3.2, 1.8, 3.9, 1.8 y 4.3 ppm, respectivamente. En la Figura 3 se puede apreciar la relación inversa entre los contenidos de calcio y fósforo disponibles en los suelos de El Crucero, Iguana II y Las Palmeras, en los cuales fue más evidente este efecto.

A través de estos resultados se puede ver que es más determinante el contenido de calcio del suelo que el valor del pH sobre la reacción de la RF. En el Cuadro 4 se aprecia que, excepto en el suelo de Las Palmeras, el pH se mantuvo entre 4.4 y 5.3, independiente de la dosis de RFN aplicada, con una reducción del contenido de aluminio intercambiable; esto indica una disminución de la acidez activa, lo

Cuadro 2. Nivel de significación de las variaciones de las diferentes determinaciones para cada uno de los suelos, según el análisis de la varianza.

Determinación	Suelos				
	El Crucero	Iguana I	Iguana II	Las Palmeras	Cd. Bolivia
P Olsen	NS	NS	**	**	NS
P Bray	**	**	**	**	**
Calcio	**	**	**	**	**
Aluminio	**	**	**	**	NS
pH	*	**	**	**	NS

\* significativo a 5%; \*\* significativo a 1%; NS no significativo.



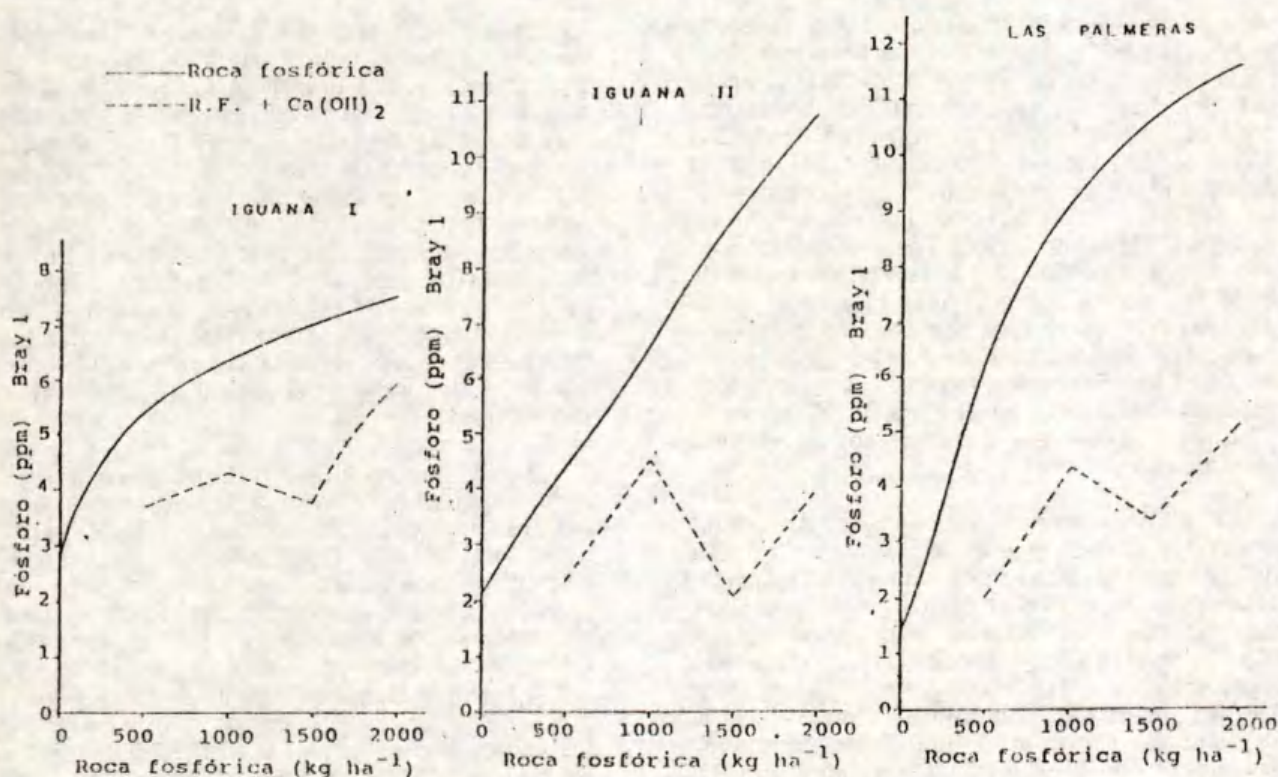


Figura 1. Variación del fósforo en los suelos de Iguana I, Iguana II y Las Palmeras (Edo. Guárico) con aplicaciones de roca fosfórica y roca fosfórica +  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Cuadro 3. Calcio disponible en los suelos tratados con RF y  $\text{RF} + \text{Ca(OH)}_2$ .

Suelos	$\text{RF}^z$					$\text{RF} + \text{Ca(OH)}_2^z$			
	0	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000
	----- ppm -----								
Iguana I	55	62	68	48	55	68	82	82	82
Iguana II	82	82	82	88	88	255	215	195	275
El Crucero	105	115	128	115	121	228	208	215	188
Las Palmeras	42	55	65	75	82	195	208	175	148
Cd. Bolivia	128	201	215	235	255	288	322	268	362

z) en  $\text{kg ha}^{-1}$ ; RF = roca fosfórica

cual afecta negativamente la disolución de la RF.

El efecto de los niveles de fertilidad de los suelos se reflejó en el rendimiento del cultivo, manifestándose una alta respuesta a la aplicación de roca fosfórica (Figura 4),

aunque hubo una reducción de éste en los suelos tratados previamente con  $\text{Ca(OH)}_2$ . El análisis de varianza de los rendimientos de materia seca refleja diferencias altamente significativas entre tratamientos y entre suelos, lo que indica que no todos los suelos se comportan igual cuando se tratan con roca fosfórica. A nivel de campo se han obtenido

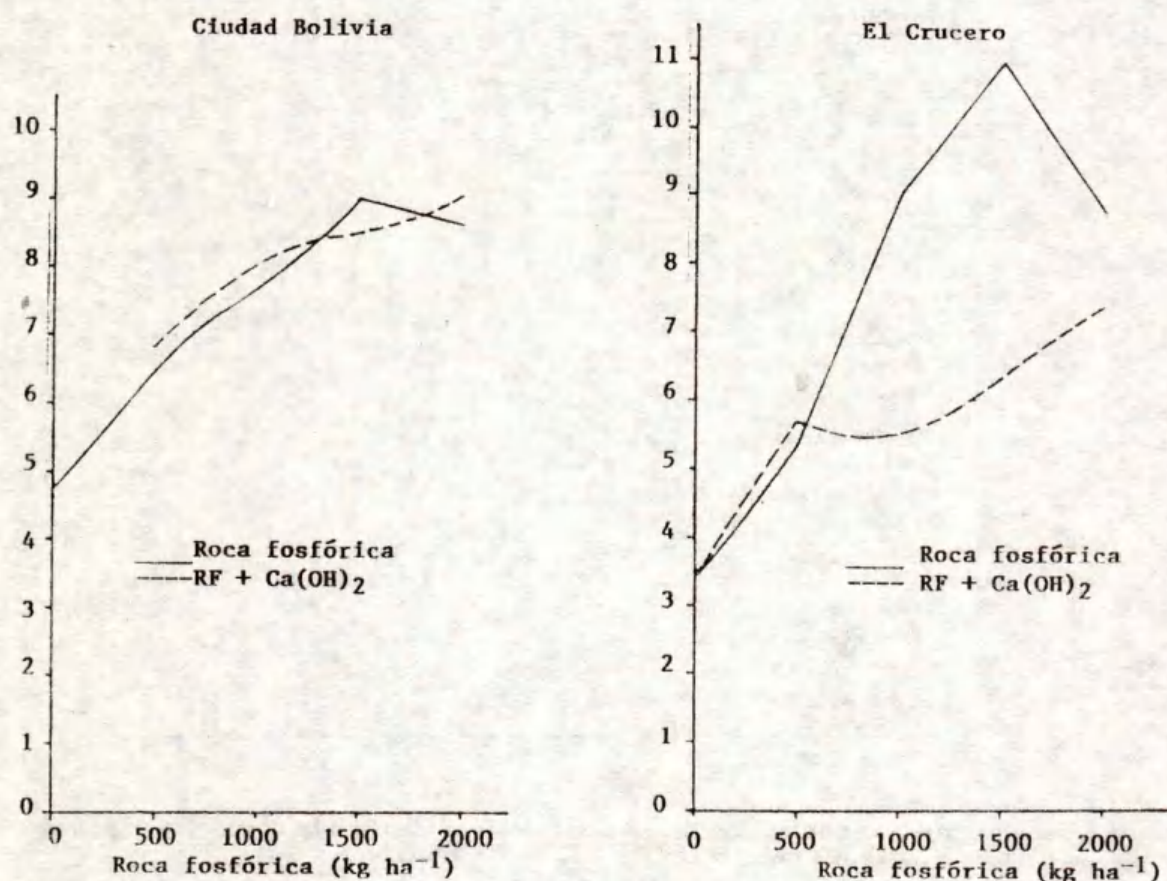


Figura 2. Variación del fósforo en los suelos de Ciudad Bolívar (Edo. de Barinas) y El Crucero (Edo. de Cojedes) con aplicaciones de roca fosfórica y roca fosfórica + Ca(OH)<sub>2</sub>.

Cuadro 4. Aluminio intercambiable y pH de los suelos tratados con RF y RF + Ca (OH)<sub>2</sub>

Suelos		RF <sup>z</sup>					RF + Ca(OH) <sub>2</sub> <sup>z</sup>			
		0	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000
Iguana I	pH	4.7	4.7	4.7	4.6	4.6	4.9	4.9	5.0	5.0
	Al <sup>y</sup>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Iguana II	pH	5.0	4.8	5.0	5.0	5.0	5.3	5.2	5.2	5.1
	Al	2.0	2.0	1.9	1.8	1.5	0.3	0.3	0.3	0.3
El Crucero	pH	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.5	4.4	4.5	4.6
	Al	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3
Las Palmeras	pH	5.1	5.2	5.1	5.2	5.3	5.8	5.8	5.4	5.6
	Al	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.1	0.1	0.1
Cd. Bolivia	pH	4.5	4.5	4.6	4.5	4.7	4.6	4.6	4.7	4.6
	Al	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1

RF = roca fosfórica; z = en kg ha<sup>-1</sup>; y = en meq/100 g.

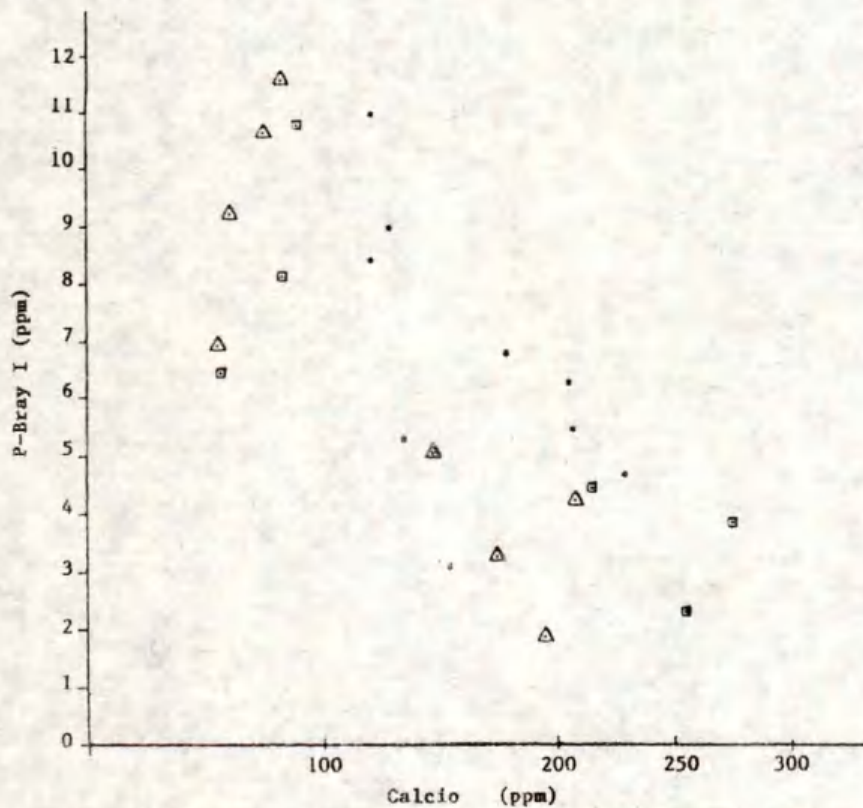


Figura 3. Relación entre los contenidos de calcio y fósforo disponible después del periodo de incubación con roca fosfórica natural (RFN) y RFN +  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

respuestas significativas a la aplicación de roca fosfórica al pasto *Andropogon gayanus* en los suelos de El Crucero y Las Palmeras (López *et al.*, 1991 y López *et al.*, 1990b).

### CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se concluye que en condiciones de acidez ocurre disolución de las rocas en todos los suelos.

- La reacción de la roca se vio afectada más por los contenidos de calcio que por el pH, ya que aun con pH menor que 5.3 en los suelos de Iguana I, Iguana II, El Crucero y Ciudad Bolivia, el fósforo disponible de éstos se redujo en los suelos tratados con calcio en comparación con los no tratados.
- La disminución del aluminio intercambiable por efecto del encalado debió haber contribuido también a reducir la disolución de la roca fosfórica.
- Hubo una relación directa entre la capacidad de adsorción de fósforo de los suelos y la reactividad de la roca; ésta fue mayor en los suelos de Iguana II, Las Palmeras y El Crucero, los que presentaron la mayor capacidad de adsorción, y menor en los suelos en Ciudad Bolivia e Iguana I.
- Los niveles de fertilidad de los suelos se reflejaron en una alta respuesta del cultivo a la aplicación de roca fosfórica, incrementando el rendimiento de materia seca en función de las dosis cuando ésta se aplicó en los suelos vírgenes, aunque se redujo el rendimiento en los suelos cuyo pH se elevó a 5.5 con aplicaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .
- Como una conclusión general de este trabajo se desprende que es necesario considerar, además del pH, los niveles de calcio del suelo y otras propiedades cuando se hagan recomendaciones de roca fosfórica, para hacer un uso más eficiente de este recurso.

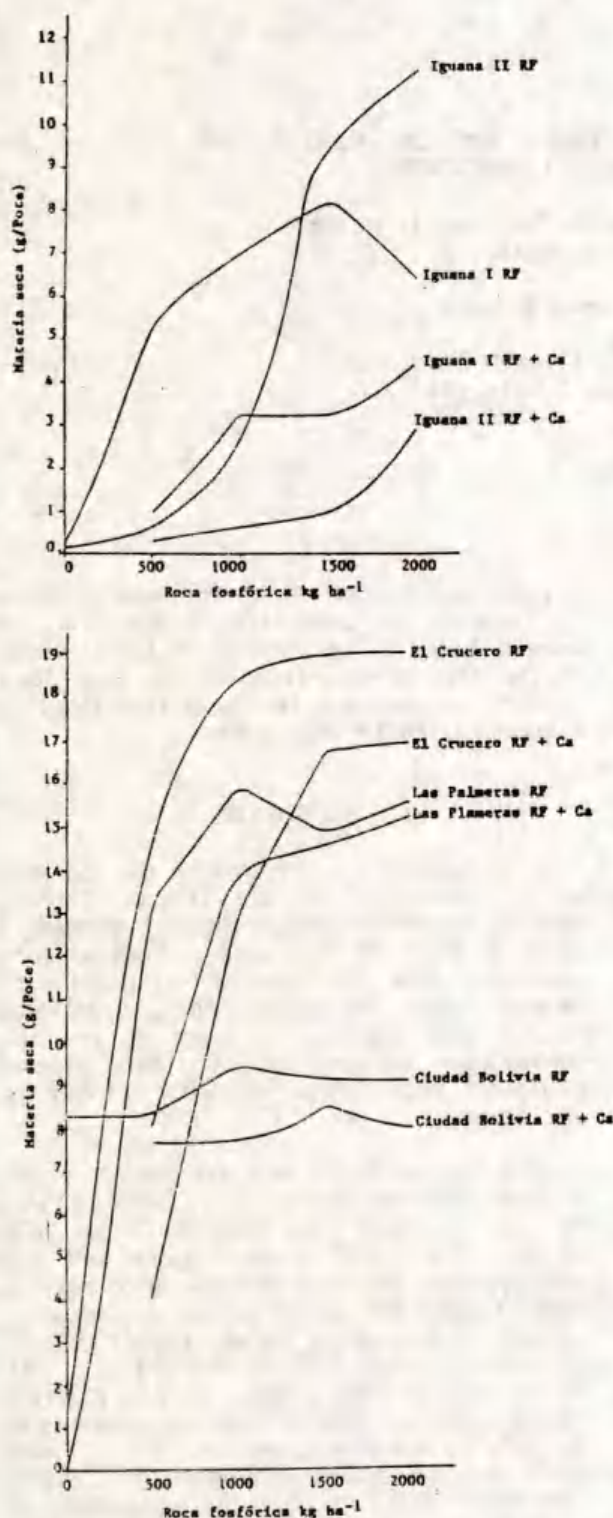


Figura 4. Rendimiento de materia seca (g/pote) en pasto *Brachiaria brizantha* con aplicaciones de roca fosfórica y roca fosfórica +  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

## LITERATURA CITADA

- ABRUÑA, F., and J. VICENTE. 1985. Refinement of a quantitative method for determining the lime requirement of soils. *J. Agric. of the Univ. of Puerto Rico*. 39: 41-45.
- BACHE, B. W., and E.G. WILLIAMS. 1971. A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.* 22: 290-301.
- CHIEN, S.H. 1981. Phosphate fertilizer. International Fertilizer Development Center. Statistical and Economic Analysis of Fertilizer Experimental Data Training Program. Alabama. Multigrafiado.
- HERRERA, M.T. 1984. Caracterización de las cargas eléctricas de cinco suelos ácidos venezolanos. Trabajo de Grado M.S. Facultad de Agronomía. UCV.
- LOPEZ H., D., and C.P. BURNHAM. 1974. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some british and tropical soils. *J. Soil Sci.* 25: 196-206.
- LOPEZ DE R., I. 1983. Requerimientos de cal en suelos de Venezuela. III. Interpretación de análisis por el método de titulación con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . *Agronomía Tropical* 33: 443-458.
- LOPEZ DE R., I. 1991. Evaluación de la roca fosfórica en la fertilización en pastizales en suelos ácidos. Informe de avance de proyecto. V. Reunión de la Comisión Central de Evaluación y Seguimiento del Programa SPB/MIG. Convenio MAC/PDVSA. Caracas. 2-3 de julio.
- LOPEZ DE R., I., y J. COMERMA. 1985. Caracterización de los suelos ácidos de Venezuela a través de algunas propiedades físicas y químicas. *Agronomía Tropical* 35: 83-109.
- LOPEZ DE R., I., M. SILVA DE Z. y J. COMERMA. 1987. Suelos ácidos de Venezuela. Avances en la construcción de un sistema experto para hacer recomendaciones de cal en estos suelos. X. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Maracaibo. Multigrafiado.
- LOPEZ DE R., I. y C.E. DE CORI. 1987. Efecto comparativo de fosforita y calcita sobre los contenidos de fósforo, calcio y neutralización de la acidez de dos suelos ácidos de Venezuela. *Agronomía Tropical* 37: 63-81.
- LOPEZ DE R., I. R. MERCADO, A. SANCHEZ, L. NIEVES y H. WIEDENHOFER. 1991. Efecto de la fertilización con roca fosfórica sobre el rendimiento en un suelo Ultisol del Estado Cojedes. *Agronomía Tropical* (En prensa).
- LOPEZ DE R.I., A. SANCHEZ, N. ALFONZO, L. NIEVES y H. WIEDENHOFER. 1990a. Respuesta del pasto *Andropogon gayanus* a la fertilización fosfatada en suelos ácidos en los Llanos de Venezuela. XI congreso Latinoamericano y II Cubano de la Ciencia del Suelo. La Habana. Cuba. 11 al 17 de marzo.
- LOPEZ DE R., I., A. SANCHEZ, L. NIEVES y H. WIEDENHOFER. 1990b. Respuesta del pasto *Andropogon gayanus* a la fertilización con roca fosfórica en un suelo Ultisol de la región Centro Occidental del Estado Guárico. *Agronomía Tropical* (En prensa).
- MARTINEZ, A. 1987. Agronomic and economic evaluation of P sources: The case of Colombia. IFDC. Statistical and Economic Analysis of Fertilizer Experimental Data Training Program. Multigrafiado.
- MATHEUS, R. 1987. Los suelos de la estación experimental La Iguala, Sur este del Estado Guárico. UCV. Facultad de Agronomía. Comisión de Estudios para Graduados. Postgrado en Ciencia del Suelo.
- PARISH, D.H., L.L. HAMMOND, and E.T. CROSWELL. 1980. Research on modified fertilizer materials for use in developing country agriculture. Multigrafiado.
- SMITH, T., and P.A. SANCHEZ. 1982. Phosphate rock dissolution availability in Cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 46: 339-345.

## EVALUACION DE LA ROCA FOSFORICA EN *Zea mays* L. EN LA COSTA DE JALISCO, MEXICO.

Phosphate Rock Evaluation in *Zea mays* L. in the Coast of Jalisco, México.

Camerino Guzmán Estrada

Investigador del Prog. de Frutales Tropicales.  
CESSI, CIRNO, INIFAP, SARH, MEXICO

*Palabras clave:* Fertilización fosfatada, Maíz, Azufre, Dolomita.

*Index words:* Phosphate fertilization, Corn, Sulphur, Dolomite.

tratamientos con RF sola y, en mayor grado, a los tratamientos con RFSJ + dolomita, en rendimiento de grano y materia seca. Finalmente, la roca fosfórica de San Juan superó ligeramente a las rocas fosfóricas de Zimapán (Hgo.) y Marruecos.

### RESUMEN

En los suelos rojos de Tequesquitlán y La Huerta, Jalisco, se cultiva comercialmente el maíz en condiciones de temporal. Se establecieron dos experimentos con maíz V-524 (Tuxpeñito) que fueron fertilizados con nitrógeno, tres fuentes de fósforo, azufre y calcio sobre la conveniencia del uso de roca fosfórica finamente molida, sola o mezclada con azufre o calcio, en suelos ácidos donde se cultiva maíz de temporal.

Los mayores rendimientos de grano y materia seca se obtuvieron al aplicar de 300 a 400 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  como roca fosfórica de San Juan, B.C.S. (RFSJ). La RFSJ sola no logró superar a ninguno de los tratamientos con RFSJ + azufre. De los tres niveles estudiados de S, el de mayor significancia fue el de 300 kg de S elemental  $ha^{-1}$ , tanto en rendimiento de grano como de materia seca. El superfosfato de calcio triple no logró superar a ninguno de los tratamientos con RFSJ + S; sin embargo, el superfosfato superó ligeramente a los

### SUMMARY

Rainfed corn is cultivated on the red soils of Tequesquitlan and La Huerta, Jalisco, Mexico. Two field experiments were established in acid soils of this area, planting corn variety V-524 (Tuxpeñito) fertilized with nitrogen, three sources of phosphorus, plus sulphur and calcium, in order to test the convenience of the use of finely ground phosphate rock, alone or with sulphur or calcium.

The highest grain and dry matter yields were obtained when applying 300 to 400 kg  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  as phosphate rock from San Juan, BCS (SJPR). The SJPR applied alone did not overcome any of the treatments with SJPR + sulphur. The 300 kg elemental-sulphur-per-hectare level gave the highest significance of the three S levels studied, on grain as well as on dry matter yields. Triple calcium superphosphate (TSP) did not overyield any of the SJPR + S treatments; however, TSP produced grain and dry matter yields slightly higher than those obtained with the application of SJPR alone, and much higher than those receiving SJPR plus dolomite. Finally, SJPR

Recibido 2-94.

gave slightly better yields than phosphate rocks from Zimapan, Hgo. and Morocco.

### INTRODUCCION

El maíz, seguido del trigo ha sido el alimento básico del pueblo mexicano desde el tiempo de los aztecas, quienes lo consumían en diferentes formas. Esta especie fue llevada por los españoles a Europa y en el siglo XVII se extendió a Francia, Alemania, Italia, Inglaterra y Holanda.

En México, el maíz es la especie a la que se dedica mayor superficie para su cultivo; sin embargo, su crecimiento y desarrollo se ven afectados por el factor nutricional.

Los fertilizantes tienen un valor social y económico en la creación y mantenimiento de una civilización avanzada. Además son indispensables para reducir el costo unitario de producción de las cosechas, ya que los rendimientos substanciales por unidad de superficie son cada vez mayores a medida que el uso de los fertilizantes se hace extensivo.

En México el estado de Jalisco es uno de los principales productores de maíz. En dicha entidad, la costa de Jalisco es una de las regiones importantes donde se cultiva esta especie; sin embargo, su potencial de producción está limitado por uno de los principales nutrimentos, el fósforo.

La demanda de fertilizantes, especialmente los fosfatados, ha ido en aumento, razón por la cual México ha intensificado las exploraciones de yacimientos de fosforita. Actualmente se cuenta con yacimientos y depósitos de roca fosfórica en los estados de Baja California Sur, Coahuila, Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, de éstos los más importantes son los de B.C.S. e Hidalgo.

La fosforita se puede aplicar directamente a suelos ácidos, donde la precipitación pluvial total anual sea mayor a 750 mm. En la costa de Jalisco se dispone de alrededor de 500 mil hectáreas en estas condiciones; 100 mil se siembran con maíz en condiciones de temporal.

Experimentos realizados con roca fosfórica finamente molida indican que ésta es más efectiva cuando se aplica a suelos ácidos y en

aquellos suelos alcalinos o neutros donde son agregadas cantidades altas de materia orgánica (Sauchelli, 1966).

Arroyave (1977) ensayó la roca fosfórica cruda de Zimapán, Hgo., en tres suelos derivados de cenizas volcánicas, del estado de México, en los que se cultiva maíz de temporal, y encontró que la eficiencia en producción de grano respecto a la eficiencia del superfosfato fue de 59.7%.

La efectividad de la roca fosfórica puede ser mejorada agregando azufre. Cuando el azufre es atacado por los microorganismos del suelo, éste es convertido a ácido sulfúrico y actúa sobre la fosforita, entonces se libera fósforo en forma asimilable y se produce superfosfato *in situ*. Sin embargo, es necesario que la fosforita y el azufre se mezclen íntimamente para que sean efectivos; la respuesta puede variar debido a las propiedades del suelo, población bacteriana y otros factores (Bixby *et al.*, 1966).

Los suelos de las regiones húmedas generalmente son ácidos, con problemas causados por Al, Fe y Mn intercambiables. La aplicación de calcio mejora el desarrollo de las plantas al disminuir el efecto de dichos elementos. Sin embargo, Moores (1929) señala que el encalado disminuye apreciablemente la efectividad de la roca fosfórica.

Con base en lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo fundamental determinar la conveniencia del uso de roca fosfórica finamente molida, sola y mezclada con azufre o calcio, en suelos ácidos en los que se cultiva maíz de temporal.

### MATERIALES Y METODOS

En el ciclo productivo de 1982 se establecieron dos experimentos en condiciones de temporal en terrenos, donde año con año se siembra maíz a nivel comercial, ubicados en Tequesquitlán y La Huerta (Las Pilas), Jalisco; a una altura alrededor de 500 metros sobre el nivel del mar, 21°44' de latitud norte y 101°58' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

El clima es cálido-subhúmedo con precipitación total anual de 1780 mm y temperatura media anual de 24.3 °C. La vegetación es selva mediana subperennifolia.

El periodo normal de lluvias se concentra de junio a octubre. El mes más frío es enero y el más cálido es junio.

Los suelos son del tipo Ferrasol con coloración rojiza a rojiza amarillenta y ricos en sesquióxidos; con relieve ondulado y pendientes de 12 a 15%, medianamente profundos y permeabilidad moderada, textura arcillo-arenosa a migajón-arcillo-arenosa, mediana a ligeramente ácidos (de 5.7 a 6.5), pobres en materia orgánica y nitrógeno, muy pobres en fósforo asimilable, medianamente ricos en calcio y magnesio asimilables; y con una capacidad de intercambio catiónico mayor de 16 meq 100 g<sup>-1</sup>. Los suelos se consideran de formación ferruginosa o fersialítica, con características morfológicas y físicas adecuadas para la agricultura; aunque es importante resaltar que la fertilidad nativa es baja, por lo que se requiere de fertilización y medidas correctivas.

Las condiciones de clima y suelo antes descritas, son favorables para tener una buena respuesta a la aplicación de roca fosfórica finamente molida como fuente de fósforo, así como a otro tipo de fertilizantes.

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se utilizaron cuatro surcos de 6 m de longitud, con separación de 0.80 m como unidad experimental total; los dos surcos centrales, cosechados con competencia completa, correspondieron a la parcela útil.

Los niveles y fuentes estudiadas fueron: 0 y 120 kg de N ha<sup>-1</sup> como urea; 100, 200, 300 y 400 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica de San Juan, B.C.S., con 12.15% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total; 300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica de Zimapán, Hgo. y Marñuecos con 32.93 y 31.97% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente; 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato de calcio triple; 200, 300 y 400 kg de S en forma elemental; y 1000, 3000 y 6000 kg ha<sup>-1</sup> de dolomita con 60 a 70% de CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub>, 20 a 30% de hidróxido de calcio y 3 a 5% de óxido de calcio. De acuerdo con las cantidades de dolomita, se aplicaron: (a) 352, 1057 y 2114 kg ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>; (b) 141, 424 y 887 kg de Ca; (c) 297, 891 y 1783 kg de MgCO<sub>3</sub> y (d) 72, 217 y 434 kg ha<sup>-1</sup> de Mg.

Se utilizó el genocultivar de maíz V-524 conocido como Tuxpeñito, con una densidad de 65 mil plantas por hectárea. Se evaluaron el

rendimiento de grano, con 12% de humedad, y el rastrojo o materia seca. Los resultados se sometieron al análisis de varianza y separación de medias de tratamientos mediante la prueba de selección Diferencia Significativa Honesta (DSH) o Tukey a 5% de probabilidad; asimismo, se realizó un análisis económico.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentarán y discutirán con base en el rendimiento de materia seca o rastrojo y grano cosechado en los dos experimentos establecidos en Tequesquiltán y Las Pilas. Al realizar el análisis de varianza para conocer la desviación de los datos respecto a su media, se determinó una diferencia altamente significativa entre los tratamientos estudiados en la variable producción de grano, con 12% de humedad, en las dos localidades mencionadas. Por lo que respecta a rendimiento de materia seca, solamente en Tequesquiltán se manifestó efecto altamente significativo entre tratamientos. El coeficiente de variación para rendimiento de grano fue de 11.6 y 12.5% en Tequesquiltán y La Huerta (Las Pilas), respectivamente, mientras que para el rendimiento de rastrojo éste fue de 8.5 y 9.9%, en el orden indicado para tales localidades; los coeficientes de variación son totalmente aceptables por tratarse de un trabajo de campo, esto hace suponer que hubo un manejo homogéneo de los factores de la producción considerados.

En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos de grano y rastrojo o materia seca obtenidos en las dos localidades indicadas. En Tequesquiltán, el rendimiento de grano fue de 3.5 a 6.9 t ha<sup>-1</sup> y en las Pilas de 2.5 a 5.0 t ha<sup>-1</sup>. Después de aplicar la prueba de selección entre medidas de tratamientos (DSH), se determinó que en el caso de Tequesquiltán, el tratamiento constituido por 120, 300 y 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en forma de roca fosfórica de San Juan y azufre, respectivamente, resultó ser estadísticamente igual a 12 de los tratamientos estudiados, superior y diferente estadísticamente, a tres tratamientos, al registrar 6.9 t ha<sup>-1</sup> de grano; mientras que en Las Pilas el tratamiento integrado por 120, 300 y 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la forma de roca fosfórica de San Juan y azufre elemental, en este orden, fue el que manifestó ser estadísticamente igual a 14 de los tratamientos estudiados y solamente superior y

diferente estadísticamente a un tratamiento, al registrar 5.0 t ha<sup>-1</sup> de grano. La poca superioridad y considerable igualdad entre los tratamientos estudiados se debe en parte a la alta rigidez de la prueba de la DSH usada en la separación de medias de dichos tratamientos.

En cuanto al rastrojo o materia seca, el Cuadro 1 muestra que en Tequesquiltán, éste varió de 1.3 a 2.2 t ha<sup>-1</sup> y en Las Pilas de de 1.1 a 1.6 t ha<sup>-1</sup>. Al aplicar la prueba de selección entre medias de tratamientos (DSH) se determinó que, en el caso de Tequesquiltán, el tratamiento constituido por 120, 300 y 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la forma de roca fosfórica de San Juan y azufre, respectivamente, resultó ser superior y diferente estadísticamente a 11 de los tratamientos estudiados e igual solamente a cuatro, al registrar 2.2 t ha<sup>-1</sup> de materia seca. En Las Pilas todos los tratamientos resultaron ser iguales entre sí

estadísticamente, el máximo rendimiento de materia seca fue de 1.6 t ha<sup>-1</sup> y el mínimo de 1.1, cuando la DSH determinada fue de 0.5 t ha<sup>-1</sup> de forraje seco.

En el Cuadro 1 se puede observar que al fertilizar al maíz solamente con roca fosfórica de San Juan, se obtuvo el mayor rendimiento de grano (5.6 t ha<sup>-1</sup>) al aplicar al suelo 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en Tequesquiltán; mientras que en Las Pilas esto se logró prácticamente con 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en forma de roca fosfórica de San Juan.

La roca fosfórica de San Juan aplicada sola, en ambas localidades, no logró superar a ninguno de los tratamientos con roca fosfórica de San Juan mezclada con azufre elemental en los tres niveles estudiados; tal vez esta diferencia se debió al azufre que al ser atacado por los microorganismos del suelo origina ácido sulfúrico, el cual favorece la

Cuadro 1. Rendimiento de grano y materia seca de maíz, fertilizado con roca fosfórica, azufre y dolomita en Tequesquiltán y Las Pilas, Costa de Jalisco.

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	D	Fuente P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Grano		Materia seca	
					Tequesquiltán	Las Pilas	Tequesquiltán	Las Pilas
kg ha <sup>-1</sup>					t ha <sup>-1</sup>			
0	0	-	-	-	3.5	2.5	1.4	1.1
120	100	-	-	RFSJ	4.9	4.2	1.5	1.6
120	200	-	-	RFSJ	5.6	3.7	1.6	1.2
120	300	-	-	RFSJ	5.6	3.7	1.6	1.4
120	400	-	-	RFSJ	5.4	4.3	1.6	1.6
120	300	200	-	RFSJ	6.5	5.0	1.8	1.6
120	300	300	-	RFSJ	6.9	4.7	2.2	1.6
120	300	400	-	RFSJ	6.4	4.6	2.0	1.3
120	300	-	1000	RFSJ	5.2	4.4	1.4	1.4
120	300	-	3000	RFSJ	4.9	4.0	1.4	1.5
120	300	-	6000	RFSJ	5.2	3.1	1.6	1.5
120	300	300	3000	RFSJ	5.1	4.1	1.3	1.5
120	50	-	-	STC	5.9	4.7	1.7	1.5
120	300	-	-	RFM	5.5	4.3	1.8	1.4
120	300	-	-	RFZ	5.5	4.6	1.5	1.5
C.V. (%)					8.9	13.3	8.5	9.9
D.S.H. a 5%					1.8	2.0	0.5	0.5

N= Nitrógeno; S= Azufre; D= Dolomita  
RFSJ = Roca fosfórica de San Juan  
STC = Superfosfato de calcio triple

RFM = Roca fosfórica de Marruecos  
RFZ = Roca fosfórica de Zimapán



liberación del P de la roca fosfórica, aunque también se podría suponer que actuó como complemento nutrimental en el maíz. Se observó, además, que al mezclarse la roca fosfórica de San Juan con el azufre elemental, el nivel de azufre que mostró una diferencia substancial respecto a los otros niveles de azufre fue el de 300 kg ha<sup>-1</sup>, tanto en rendimiento de grano como de biomasa o forraje seco, en la localidad de Tequesquiltán, mientras que en Las Pilas, fue con la dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup>.

El Cuadro 1 muestra, en cuanto al rendimiento de grano en Tequesquiltán, que al fertilizar con roca fosfórica de San Juan mezclada con dolomita, no se logró incrementar considerablemente el rendimiento de grano, respecto a cuando solamente se aplicó roca fosfórica de San Juan. Una situación similar se presentó para la misma variable en la localidad de las Pilas, así como para el rastrojo en ambas localidades.

Al fertilizar con superfosfato de calcio triple se obtuvo un rendimiento de grano considerablemente menor, pero no significativamente diferente, que el obtenido al fertilizar con roca fosfórica de San Juan mezclada con azufre, ya que la diferencia fue de 1.05 t ha<sup>-1</sup> de grano en Tequesquiltán y de 0.33 t ha<sup>-1</sup> en las Pilas. Además, el superfosfato superó al menos en 0.65 t ha<sup>-1</sup> de grano en Tequesquiltán y en t ha<sup>-1</sup> 0.34 en Las Pilas a el tratamiento con roca fosfórica de San Juan + azufre + dolomita. Así mismo, al fertilizar con superfosfato se incrementó ligeramente el rendimiento de grano en 0.38 t ha<sup>-1</sup> en Tequesquiltán y en 0.07 t ha<sup>-1</sup> en Las Pilas, respecto al rendimiento de grano obtenido al aplicar las rocas fosfóricas de Zimapán, Hgo. y Marruecos. El rendimiento de materia seca obtenido al aplicar superfosfato, generalmente fue de los más altos en ambas localidades; incluso se puede especificar que los rendimientos de grano y forraje seco fueron estadísticamente iguales al aplicar superfosfato de calcio triple, respecto a algunos niveles de roca fosfórica de San Juan sola o mezclada con azufre o dolomita, o bien con las rocas fosfóricas de Zimapán, Hgo. y Marruecos. Es interesante señalar que el superfosfato de calcio triple es una fuente de fósforo altamente soluble en comparación con la roca fosfórica.

Por otro lado, la roca fosfórica de San Juan se comportó prácticamente igual a las rocas fosfóricas de Zimapán, Hgo. y Marruecos en cuanto a rendimiento de grano en la

localidad de Tequesquiltán, no así en Las Pilas donde dichas rocas superaron ligeramente, pero no significativamente, a la roca fosfórica de San Juan (Cuadro 1). Respecto al rendimiento de materia seca, las tres rocas fosfóricas estudiadas manifestaron un comportamiento similar al registrar pequeñas diferencias.

El análisis económico mostró que la mayor eficiencia en ingresos netos se logró con los tratamientos que llevaron roca fosfórica de San Juan mezclada con azufre elemental, así como con el superfosfato de calcio triple. Sin embargo, con el superfosfato se presentó la mayor tasa de retorno al capital variable en las dos localidades consideradas.

## CONCLUSIONES

De los resultados de este estudio se concluye que al fertilizar con roca fosfórica de San Juan mezclada con azufre se logró obtener los máximos rendimientos de grano y materia seca.

Con el superfosfato de calcio triple se obtuvieron rendimientos de grano y materia seca ligeramente inferiores pero estadísticamente iguales, a los obtenidos con roca fosfórica de San Juan mezclada con azufre elemental. Una situación similar se observó al mezclar la roca fosfórica de San Juan con dolomita.

Posiblemete el azufre elemental mostró efecto como nutrimento y acidulador parcial de la roca fosfórica.

Económicamente es recomendable usar como fuente de fósforo al superfosfato de calcio triple y en segunda instancia a la roca fosfórica de San Juan mezclada con azufre, debido a su mayor tasa de retorno al capital variable.

## LITERATURA CITADA

- ARROYAVE A, J.J. 1977. Eficiencia de distintas técnicas de aplicación de roca fosfórica cruda y con diferentes grados de acidulación en maíz de temporal en la Altiplanicie Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- BIXBY, D.W., L. D. RUCKER, and L. S. TISDALE. 1966. Miscellaneous phosphatic fertilizer. Ground phosphate rock. Phosphatic fertilizer, Bull. 8: 33.
- MOORES, C.A. 1929. The comparative values of different phosphate. Tenn. Agr. Exp. Sta. Bull. 141: 18.
- SAUCHELLI, V. 1966. Química y tecnología de los fertilizantes. Compañía Editorial Continental S.A. México.

## AUSTRALIAN FIELD AND GLASSHOUSE RESEARCH WITH ROCK PHOSPHATES: HISTORY, EXPLANATIONS AND CURRENT DEVELOPMENTS

Investigación Australiana en Campo e Invernadero, con Rocas Fosfóricas:  
Historia, Explicaciones y Desarrollos Actuales

R.J. Gilkes<sup>1</sup> and M.D.A. Bolland<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Soil Science and Plant Nutrition, School of Agriculture, The  
University of Western Australia, Nedlands, W.A. 6009, Australia

<sup>2</sup>Plant Research Division, Western Australian Department of  
Agriculture, Baron-Hay Court, South Perth, W.A. 6151, Australia.

*Index words:* Phosphate rock, Australia,  
Phosphate fertilizers, Agronomic efficiency.

*Palabras clave:* Roca fosfórica, Australia,  
Fertilizantes fosfatados, Eficiencia  
agronómica.

### ABSTRACT

The agronomic effectiveness of rock phosphates has been measured for diverse crop and pasture species in many pot and field experiments in Australia. The effectiveness (RE) of freshly applied rock phosphates relative to freshly applied superphosphate for 164 Australian pot and field experiments ranged from <0.1 to 2.5, with the mean value for apatite rock phosphates being 0.26 compared with 0.42 for calcined Fe, Al phosphates. Variations in RE values were primarily due to systematic differences in experimental design and fertilizer solubility, and not to differences in soil pH, plant species, the capacity of the soil to adsorb P and mean annual rainfall. All RE values > 0.4 were obtained from experiments in which only 1 or 2 levels of fertilizer were applied to soils that were poorly responsive to applied P. It was thus not possible to define the complete response curves required to obtain

precise values of RE so that the high values of RE may be inaccurate. In most cases, RE values were <0.4 for experiments in which several levels of fertilizer P were applied to highly P-responsive soils so that complete response curves were defined and precise values of RE estimated.

The residual effectiveness (RV) of previously applied rock phosphate relative to freshly applied superphosphate remained low for all experiments and was approximately constant for several years after application, being 5-30% as effective as freshly applied superphosphate. The average value of RV for superphosphate declined by 40% in the first year after application, by a further 15% in the second year, and by a further 30% over the remaining six years. However, the decline in RV differed substantially between sites. The RV of both superphosphate and rock phosphates appears not to have been systematically influenced by soil type, soil pH, the capacity of the soil to adsorb P, mean annual rainfall, and whether the fertilizers were topdressed or were incorporated.

Laboratory studies of soil/rock phosphate reactions have shown that the poor effectiveness of the rock phosphates is primarily due to limited dissolution of these fertilizers. Many Australian soils are only moderately acid (pH in water >5.5) and due to their low pH buffering capacities can not

Recibido 6-94.

quickly contribute a large supply of protons to promote rapid dissolution of rock phosphate. The soils also commonly have quite low capacities to adsorb the P and Ca released during dissolution of rock phosphate. They also have low water-holding capacities, and in the field under the strongly seasonal climates experienced by most of the agricultural regions of Australia, the fertilized surface soil rapidly dries between rains thereby restricting dissolution of rock phosphates. In the laboratory it has been shown that rock phosphate dissolution is at a maximum in permanently-moist, acid soil with a high pH buffering capacity, and high P and Ca buffer capacities. Thus the low extent of dissolution of rock phosphate fertilizers in many Australian soils is primarily responsible for the poor agronomic effectiveness of these fertilizers which leads to the conclusion that rock phosphates can not be economic fertilizers for most agricultural systems.

This recognition of the edaphic constraints to the use of rock phosphates has stimulated a national series of field experiments, where rock phosphates of high reactivity are being evaluated as maintenance fertilizers for permanent pastures grown on acid soils in high rainfall areas.

#### RESUMEN

La eficiencia agronómica de rocas fosfóricas en Australia se ha medido para diversos cultivos y especies forrajeras en muchos experimentos de macetas y de campo. La eficiencia (RE) de rocas fosfóricas recientemente aplicadas, relativa a superfosfato de reciente aplicación varió de < 0.1 a 2.5 para 164 experimentos en macetas y en campo, con un valor medio de 0.26 para apatitas, comparado con 0.42 para fosfatos calcinados de Fe y Al. Las variaciones en los valores de RE se debieron principalmente a las diferencias sistemáticas en el diseño experimental y a la solubilidad del fertilizante, y no a diferencias en pH del suelo, especie vegetal, capacidad de adsorción de P del suelo o precipitación media anual. Todos los valores de RE superiores a 0.4 se obtuvieron de experimentos en los que solo se aplicaron uno o dos niveles de fertilizante a suelos con respuesta pobre a la aplicación de P. Por lo tanto no fue posible definir las curvas completas de respuesta requeridas para obtener valores precisos de RE, por lo que los

valores altos de RE pueden ser imprecisos. En la mayoría de los casos, los valores de RE menores a 0.4 correspondían a experimentos con varios niveles de P fertilizante aplicado a suelos con alta respuesta a P en los que se definieron curvas completas de respuesta y se estimaron valores precisos de RE.

La eficiencia residual (RV) de roca fosfórica previamente aplicada, relativa a superfosfato de reciente aplicación, permaneció baja en todos los experimentos y fue aproximadamente constante por varios años después de la aplicación, siendo entre 5 y 30% de efectiva en comparación con superfosfato de reciente aplicación. El valor promedio de RV para superfosfato declinó en 40% en el primer año después de su aplicación, seguido de 15% en el segundo año y un subsecuente abatimiento de 30% en los restantes seis años. Sin embargo, la declinación en RV difirió sustancialmente entre sitios. La RV de ambos, superfosfatos y rocas fosfóricas, parece no haber sido influenciada sistemáticamente por el tipo de suelo, pH o capacidad de adsorción de P del suelo, precipitación media anual, o bien si los fertilizantes se aplicaban superficialmente o se incorporaban al suelo.

Estudios de laboratorios sobre reacciones de suelo/roca fosfórica han mostrado que la baja eficiencia de las rocas fosfóricas se debe primordialmente a la limitada disolución de estos fertilizantes, muchos suelos australianos son solo moderadamente ácidos (con pH en agua > 5.5) y debido a sus bajas capacidades de amortiguamiento de pH no pueden contribuir rápidamente a un gran abastecimiento de protones para promover una rápida disolución de la roca fosfórica.

Los suelos también comúnmente tienen bajas capacidades para adsorber el P y Ca liberados durante la disolución de la roca fosfórica. Los suelos también tienen bajas capacidades de retención de humedad y en el campo, bajo los climas fuertemente estacionales experimentados en la mayoría de las zonas agrícolas de Australia, el suelo superficial fertilizado se seca rápidamente entre lluvias, restringiendo en consecuencia la disolución de las rocas fosfóricas. En el laboratorio se ha demostrado que la disolución de rocas fosfóricas fertilizantes en muchos suelos australianos es el factor principal responsable de la baja eficiencia agronómica de estos fertilizantes, llevando a la conclusión de que las rocas fosfóricas no

pueden servir como fertilizantes económicos en la mayoría de los sistemas agrícolas.

El reconocimiento de las limitaciones edáficas para el uso de rocas fosfóricas, ha estimulado una serie de experimentos de campo en todo el país, en los que se están evaluando rocas fosfóricas de alta reactividad como fertilizantes de mantenimiento en pastizales permanentes desarrollados en suelos ácidos de regiones con alta precipitación pluvial.

### INTRODUCTION

The Australian experience with rock phosphates was comprehensively reviewed for the period up to 1990 by Gilkes and Bolland (1992), and subsequent publications have reinforced the conclusions reached in that publication and which are repeated here. The agronomic effectiveness values of apatite rock phosphates (Khasawneh and Doll, 1978) and Calciphos, a calcined calcium iron-aluminium (crandallite-millisite) rock phosphate fertilizer (Hoare, 1980), have been compared with superphosphate in numerous pot and field experiments in Australia. The residual value of these fertilizers to successive crops has also been measured in pot experiments and some long-term field experiments. There is considerable disagreement between authors on the agronomic effectiveness of these fertilizers, and in particular on the situations in which they might be used as substitutes for water-soluble phosphorus (P) fertilizers. In this paper we have compared the published data by using the uniform criterion of calculating the effectiveness of freshly applied rock phosphate relative to freshly applied superphosphate (relative effectiveness). We have also compared the residual value of rock phosphate with superphosphate as measured in long-term field studies using the same criterion. We are thus able to consider whether particular edaphic conditions, plant species, fertilizer properties or experimental procedures have influenced the values of relative effectiveness derived for these fertilizers. We then consider the soil chemical constraints to rock phosphate dissolution in soils which will provide explanations for the low effectiveness of rock phosphates in most of the field and glasshouse experiments carried out in Australia.

### Procedures

#### Relative effectiveness of freshly applied fertilizer

The effectiveness of freshly applied rock phosphate and superphosphate was calculated from published data in three ways: (i) when only one or two levels of fertilizer had been applied, the slope of the relationship between yield and the level of P applied was calculated using the nil and the only level of P applied, or the nil and the two levels of P applied; (ii) when several levels of P were applied and the yield plateaux for rock phosphate and superphosphate were poorly defined or were not the same; the initial slope of the relationship between yield and the level of P applied was calculated using nil and the first two levels of P applied; (iii) when several levels of P were applied, and the yield plateaux for rock phosphate and superphosphate were the same; the effectiveness of the fertilizers was estimated from the exponents of a statistically fitted exponential equation (Barrow and Campbell, 1972; Barrow, 1985). To estimate the effectiveness of rock phosphate relative to superphosphate (current relative effectiveness or CRE), the slope or exponent calculated for rock phosphate was divided by the slope or exponent calculated for superphosphate.

#### Graphic analysis

The current relative effectiveness values (CRE) for freshly applied rock phosphate were grouped in turn on the basis of the following criteria to identify if there were systematic differences in relative effectiveness related to these criteria; (i) soil pH, (ii) plant species, (iii) solubility of fertilizer P in neutral ammonium citrate (expressed by the amount of P soluble in neutral ammonium citrate as a percentage of the total P content of the fertilizer (AOAC, 1975)), (iv) the degree of substitution of carbonate for phosphate in the apatite structure (Lehr and McClellan, 1972), (v) average annual rainfall at the field site, (vi) the responsiveness of the soil to applied P (RESP) determined as the yield for the nil P treatment expressed as a percentage of the largest yield (i.e. a high value indicates a lack of responsiveness and consequently a low requirement for P fertilizer), (vii) whether one or two levels

of P or more than two levels of P were applied (viii) the capacity of the soil to adsorb P as determined by the P buffer capacity (Ozanne and Shaw, 1967), and (ix) whether or not the P was leached. Data were obtained from the following publications; apatite rock phosphate - Trumble and Donald (1938), Teakle (1945), Rossiter and Ozanne (1955), McLachlan (1960), Arndt and Mcintyre (1963), Phillips and Norman (1965), Alston and Chine (1974a, 1974b), Bolland (1985a, 1985b, 1987), Bolland and Bowden (1984, 1987), Bolland *et al.* (1986), Ghosh and Gilkes (1987), Deeley *et al.* (1987); Calciphos - Mason and Cox (1969), Teitzel and Bruce (1969), Lipsett and Williams (1970), Fisher and Campbell (1972), Wright (1975), Gilkes and Palmer (1979, 1982), Palmer and Gilkes (1982, 1983a, 1983b), Palmer *et al.* (1979), Bolland (1985a), Bolland and Bowden (1982, 1984, 1987), Bolland *et al.* (1984, 1986, 1987), and Yeates *et al.* (1984).

#### Canonical analysis

Groupings of the data were also compared using canonical variate analysis based on data that were available for most of the published work. The five variables compared were: CRE (current relative effectiveness), soil pH, the responsiveness of the soil to applied P determined by the yield of the nil P treatment expressed as a percentage of the largest yield (RESP), the number of rates of applied P used in the experiments (LEVEL), and the percentage of total P present in the fertilizer that was soluble in neutral ammonium citrate (PNAC), there were only limited data on the P adsorption capacity of the soils, so that although this property does influence fertilizer effectiveness, the variable was not included in the canonical analysis. Each of the five variables was standardized to a mean value of zero and a variance of 1, so that there are both positive and negative values for each variable. For the initial canonical analysis, data for Calciphos and the apatite rock phosphates were combined and were analysed for all variables. Secondly, the data were reanalysed for four variables by omitting data for PNAC, since the magnitude of this property is quite different for the two fertilizer types and, therefore, dominated the canonical variates. Finally, the data for Calciphos and apatite rock phosphates were analysed separately by canonical variate analysis using the above five variables. Canonical analysis was used to test the validity of dividing the data into eight

groups (Table 1) based on the following three criteria; (i) fertilizer type: Calciphos (C), low-reactive Queensland rock phosphate (Q), high-reactive North Carolina rock phosphate (R), and a low-reactive rock phosphate from Western Australia (W); (ii) type of experiment, either glasshouse pot experiments (G) or field experiments (F); and (iii) whether the plant species were legumes (L) or non-legumes (N). On this basis, 126 of a total of 164 published experiments could be analysed. Data for several other rock phosphates and for perennial plant species were limited to less than seven experiments, so that these data were not included in the canonical variate analysis. Canonical variates were calculated using Rothamsted's Genstat statistical program. For each group 90% confidence regions for the canonical variate means were determined as  $(1.645/\sqrt{n})$ , where n is the number of observations (Seal, 1964).

#### Residual relative effectiveness

The effectiveness values for previously applied rock phosphate and superphosphate were calculated relative to freshly applied superphosphate (i.e. applied each year or to

Table 1. The eight groups used for the canonical variate analysis for five variables: relative effectiveness (RE), soil pH, RESP (the response of the soil to applied P determined by the yield for the nil P treatments expressed as a percentage of the largest yield), LEVEL (the number of levels of P used in the experiments), and PNAC (the percentage of total P present in the fertilizer that was soluble in neutral ammonium citrate).

Group	Code	Number of observations	Relative effectiveness (mean $\pm$ s.d.)
1	CFL	37	0.46 $\pm$ 0.66
2	CFN	7	0.20 $\pm$ 0.17
3	OGL	20	0.54 $\pm$ 0.28
4	OGN	15	0.38 $\pm$ 0.27
5	WFL	7	1.05 $\pm$ 0.58
6	QFL	36	0.16 $\pm$ 0.10
7	QFN	7	0.19 $\pm$ 0.11
8	RFN	7	0.16 $\pm$ 0.05

Codes for the groups are: C, Calciphos; Q, Queensland low-reactive apatite rock phosphate; R, North Carolina reactive apatite rock phosphate; W, a low-reactive rock phosphate from Dandaragan, Western Australia; G, glasshouse pot experiment; F, field experiment; L, legumes, and N, non-legumes.

each successive crop) to give residual relative effectiveness values (RRE). Details of the calculations for the following published data are included in the original publications: superphosphate - Trumble and Donald (1938), Barrow and Carter (1978); Bolland (1986); superphosphate and apatite rock phosphate - Bolland (1985a), Bolland and Bowden (1987); superphosphate and Calciphos Bolland (1985a), Bolland and Bowden (1987), Bolland *et al.* (1984). The residual values for superphosphate and apatite rock phosphate for the data of Ardn and McIntyre (1963) were calculated by Barrow (1980).

The procedure used to calculate the residual effectiveness values of fertilizers for other published data (superphosphate and apatite rock phosphate Bolland and Bowden (1984); Bolland *et al.* (1987); superphosphate and Calciphos Bolland and Bowden (1982; 1984; 1986) was as follows: the initial slope of the relationship between yield expressed as a percentage of the maximum yield, and the rate of P applied was calculated for each fertilizer each year by using the nil and the first two levels of P applied. The maximum yield each year was measured for superphosphate that had been freshly applied as strips each year across all plots at a sufficient rate to provide an estimate of the maximum yield. The residual value was then calculated by dividing the slope value for rock phosphate by the slope value for freshly applied superphosphate applied in the first year of the experiment. Further details of these procedures are given in the publications cited above, and it is believed that the various procedures used to calculate residual effectiveness provide comparable values.

## RESULTS AND DISCUSSION

A complete summary of the data is available on request to the senior author.

### Relative effectiveness of freshly applied fertilizer (CRE values)

A very large range in CRE values for rock phosphate has been obtained by the various workers (Fig. 1). Values for pot experiments range from < 0.1 to 0.8 for apatite rock phosphates (mean 0.26), and for Calciphos from <0.1 to 1.10 (mean value 0.44). The range was even larger for field experiments; for apatite values extended from <0.1 to 2.10 (mean 0.29) and for Calciphos from <0.1 to 2.4 (mean

0.40). It is appreciated that mean values do not provide a clear indication of trends and differences for such strongly skewed populations but logarithmic and other transformations of the data and parameters such as median and mode values were also unsuitable. These representations of the data do, however, appear to indicate that Calciphos is generally more effective than apatite, but the extreme variation in values makes this interpretation somewhat tentative. It is clear that only in exceptional circumstances are rock phosphate fertilizers as effective or more effective than superphosphate, and the remainder of this paper is directed to identifying the influence of experimental conditions on values of relative effectiveness.

### Graphical, single factor, analysis

Groupings of the CRE data were plotted to examine the possibility that differences in edaphic conditions, plant factors, and experimental procedures had systematically influenced CRE values. Several factors had no systematic effect on the CRE values (i.e. mean values and populations were not clearly different), and so diagrams for these groupings are not shown. These factors were different plant species, average annual rainfall and the P buffering capacity (P adsorption capacity) of the soil. The proportion of the total fertilizer P that was soluble in neutral ammonium citrate had no systematic effect on CRE values, which is surprising since < 1-27% of the P in apatite rock phosphates was soluble and 27-92% for Calciphos.

As the degree of substitution of carbonate for phosphate in the apatite structure increases, the CRE value generally increases (Engelstad *et al.*, 1974; Chien and Hammond *et al.*, 1986; Léon *et al.*, 1986); consequently reactive (high carbonate substitution) apatites are preferred for direct application to soils. Unfortunately, Australian data for reactive rock phosphates are limited to the glasshouse pot experiment of Ghosh and Gilkes (1987), and the field experiments of Bolland *et al.* (1986) and Bolland and Gilkes (1991), with most workers using apatites of low to very low reactivity that were most unlikely to be effective under any circumstances. In conformity with the results of the various publications cited above, Ghosh and Gilkes (1987) found that the CRE values of a range of apatite rock phosphates in a Western

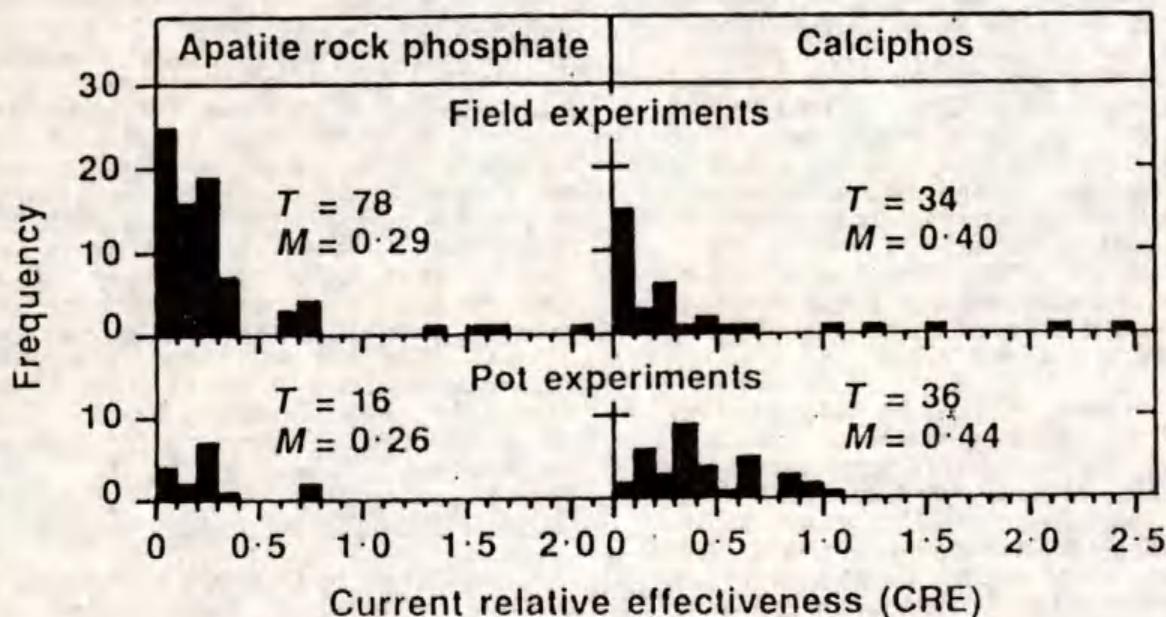


Figure 1. Frequency distribution of current relative effectiveness (CRE) values calculated for apatite rock phosphates and Calciphos for all published pot and field experiments.  $T$  is the total number of observations included in the analysis and  $M$  is the arithmetic mean values of RE.

Australian lateritic soil tended to increase as the degree of substitution of carbonate for phosphate in the apatite structure increased. Bolland *et al.* (1986) found that under field conditions freshly applied, low-carbonate substituted Queensland apatite rock phosphate and high-carbonate substituted North Carolina rock phosphate were similarly ineffective, being 10-20% as effective as freshly applied superphosphate.

In addition to the properties of rock phosphates two factors were found to have had a major influence on the CRE values for apatite and Calciphos fertilizers in the published work. These were the number of levels of P applied in the experiments (one or two levels compared with several levels), and the responsiveness of the soils to applied P. All the CRE values for both apatite and Calciphos rock phosphates were  $<0.4$  when data were only taken from experiments (Fig. 2). Higher values commonly occurred for experiments in which only one or two levels of P were applied. When highly P responsive soils (RESP  $<25\%$ , which means that relative to

the yield for unfertilized soil, the plant yield response to applied P fertilizer is  $>75\%$ , i.e.  $>75\%$  response) were used for the experiments, CRE values for both the apatite and Calciphos rock phosphates were  $<0.4$  in all cases (Fig. 3). By contrast for both rock phosphates, all the CRE values  $>0.4$  were for soils that were only slightly responsive ( $<25\%$  response to applied P). Consequently for both field and pot experiments when several levels of P were applied to P responsive soil, the range in CRE values for rock phosphate was much smaller, i.e. from  $<0.1$  to  $0.4$ , compared with  $<0.1$  to  $1.10$  for all pot experiments, and  $<0.1$  to  $2.5$  for all field experiments.

The most precise values of CRE were obtained for responsive soils and several levels of fertilizer application (Fig. 4). The mean CRE value for pot experiments with apatite decreased from a value of  $0.26$  for all pot experiments to  $0.19$  for the most precise experiments, for field experiments with apatite from  $0.29$  to  $0.16$ , for pot experiments with Calciphos from  $0.44$  to  $0.27$ , and for

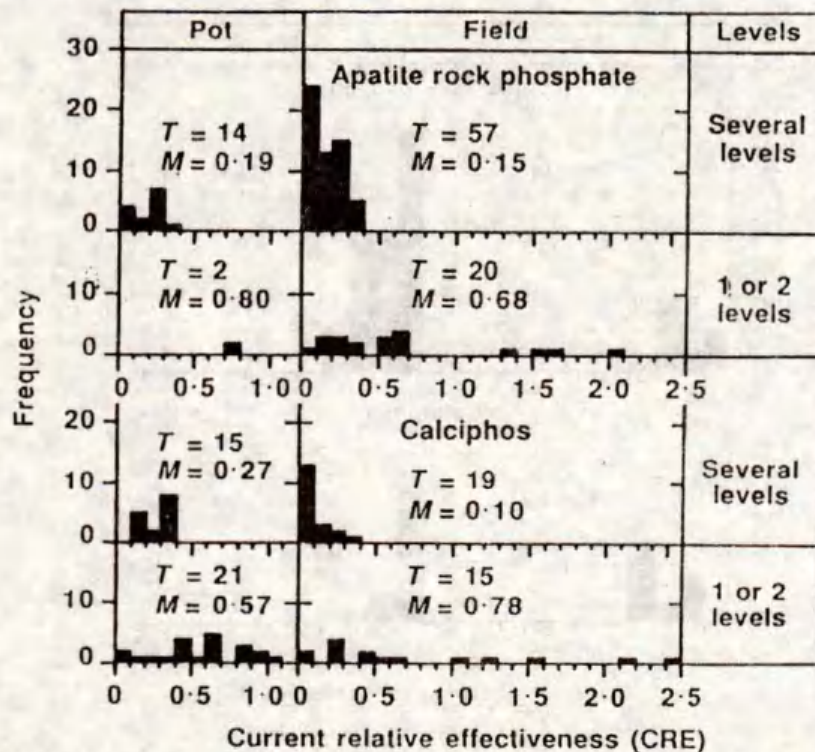


Figure 2. Current relative effectiveness (CRE) of apatite rock phosphate and Calciphos calculated from pot and field experiments grouped on the basis of whether one or two, or several levels of P used in the experiments to compare the fertilizers with freshly applied superphosphate.

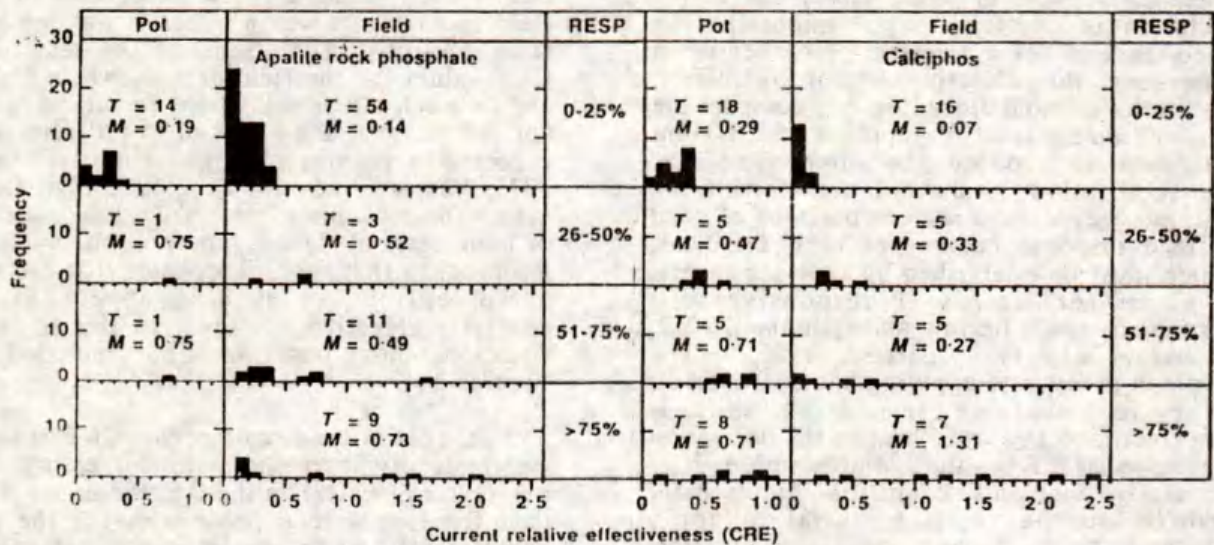


Figure 3. Current relative effectiveness (CRE) of apatite rock phosphate and Calciphos calculated from pot and field experiments grouped into categories of responsiveness of the soil to applied P (RESP). RESP has been determined by the yield for the nil P treatment expressed as a percentage of the largest yield.



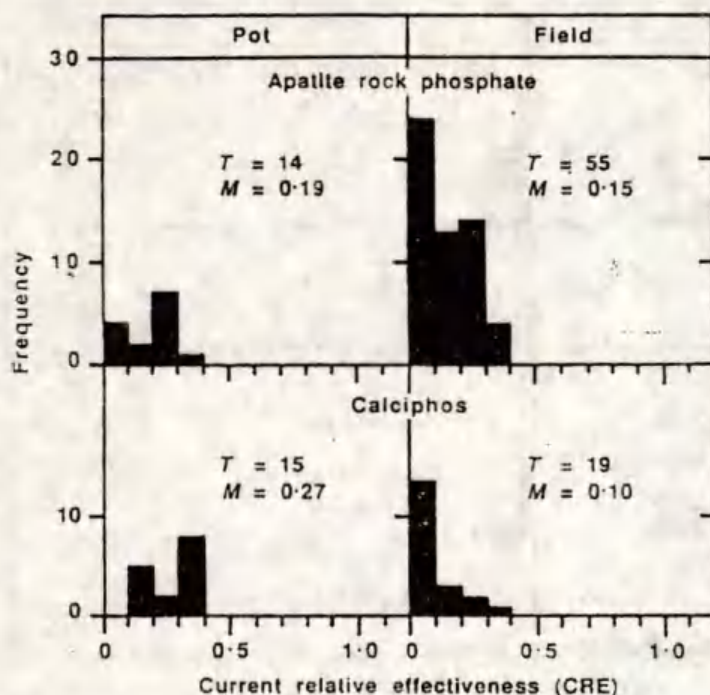


Figure 4. Frequency distribution of current relative effectiveness (CRE) values for apatite rock phosphates and Calciphos for published pot and field experiments with several levels of P applied to highly P responsive soils (yield for the nil P treatment is <50% of the largest yield).

Calciphos field experiments from 0.40 to 0.10. These differences in mean values due to the exclusion of imprecise data emphasize the importance of using a correct procedure when comparing the effectiveness of fertilizers. The most desirable procedure is to compare the required amounts of P supplied as different fertilizers to produce the same yield (i.e. the substitution value of the fertilizers). This procedure involves comparisons of well defined response curves for each fertilizer, which must be established by applying several levels of fertilizer to P responsive soils (Crowther, 1947; Barrow and Campbell, 1972; Palmer *et al.*, 1979; Barrow, 1985). The common practice of applying one or two levels of P to poorly P responsive soils is incorrect, and thus may lead to the derivation of imprecise CRE values. Furthermore, it is imperative that only P nutrition limits plant growth, so that it is essential to apply adequate rates of any deficient nutrients other than P so that the other nutrients are non-limiting. If nutrients other than P or soil pH also limit plant growth, incorrect CRE values may be estimated for the P fertilizers.

Another factor that had a major influence on the CRE values of rock phosphates in the field experiments was whether P was leached from the soil profile. Some of the very high CRE values for the field data shown in Fig. 1 are for such situations where fertilizers were applied to very sandy soils of low P retention capacity in regions of high rainfall (Wright, 1975; Yeates *et al.*, 1984). These high CRE values for rock phosphates are a consequence of high losses of P from superphosphate due to leaching, so that rock phosphates that are not as susceptible to leaching appear to be relatively effective. Because of this unusual situation, these data were not included in Figures 2-4.

For apatite and calciphos, CRE values systematically increased with decreasing soil pH (1:5 soil:water), although there are few data for apatite rock phosphates for the pot experiments and the range in soil pH values was quite small. For the field experiments, 53% were for soil pH values between 6.1 and 7.0, with 75% being for pH values between 5.6 and 7.0. Corresponding values for the pot

experiments were 30 and 53%. For pot and field experiments, soils with pH values <5.6 were usually for experiments in which only one or two levels of fertilizer were applied to poorly P responsive soils so that RE values were unreliable. Thus we conclude that the influence of soil pH on the CRE values for rock phosphates cannot be confidently deduced from the published data.

Canonical analysis

The graphical single factor analysis described above used from all experiments to generate mean values of relative effectiveness. This analysis was based on single properties or procedures and implicitly assumes that other properties and/or procedures varied randomly. This is unlikely to be the case and a better comparison of the different experiments would be provided by a multidimensional plot of the data with separate axes for pH, RESP, etc., such as is

used in multiple regression analysis. A simple procedure is to use canonical analysis as a basis for testing the homogeneity of eight groups of experiments that are determined on the basis of experimental conditions and fertilizer type (Table 1). The canonical variates determine which parameters were most important in delineating the groups and also provide an expression of the variability of data within each group.

When the data for Calciphos and apatite rock phosphates were combined and five variables (CRE, pH, RESP, LEVEL, PNAC). were used to define canonical variates, about 99% of the variation in the data could be explained by the first two canonical variates (Fig. 5a and Table 2). The eight groups of experiments separate into two blocks of four each with quite different values of the first canonical variate. The two blocks correspond to Calciphos and apatite experiments respectively and they are resolved

Table 2. Coefficients for the two canonical variates (CV<sub>1</sub> and CV<sub>2</sub>) when five or four variables were analysed and when data for freshly applied Calciphos and apatite rock phosphate fertilizers were combined or analysed separately.

Variables	CV <sub>1</sub>	CV <sub>2</sub>	CV <sub>1</sub>	CV <sub>2</sub>
	Combined data (all 8 groups 5 variables)		Calciphos (groups 1-4) 5 variables	
RE (x <sub>1</sub> )	0.16 (I <sub>1</sub> )	0.01 (m <sub>1</sub> )	-0.10 (I <sub>1</sub> )	0.46 (m <sub>1</sub> )
pH (x <sub>2</sub> )	0.26 (I <sub>2</sub> )	-0.45 (m <sub>2</sub> )	0.44 (I <sub>2</sub> )	0.66 (m <sub>2</sub> )
RESP (x <sub>3</sub> )	0.84 (I <sub>3</sub> )	1.15 (m <sub>3</sub> )	0.48 (I <sub>3</sub> )	-0.02 (m <sub>3</sub> )
LEVEL (x <sub>4</sub> )	0.012 (I <sub>4</sub> )	-0.62 (m <sub>4</sub> )	-1.18 (I <sub>4</sub> )	0.62 (m <sub>4</sub> )
PNAC (x <sub>5</sub> )	-5.33 (I <sub>5</sub> )	-0.91 (m <sub>5</sub> )	-1.26 (I <sub>5</sub> )	-0.75 (m <sub>5</sub> )
Variance (%)	96%	3%	79%	15%
	Combined data (all 8 groups 4 variables)		Apatite (groups 5-8) 5 variables	
RE (x <sub>1</sub> )	0.23 (I <sub>1</sub> )	-1.13 (m <sub>1</sub> )	-0.20 (I <sub>1</sub> )	-0.47 (m <sub>1</sub> )
pH (x <sub>2</sub> )	0.83 (I <sub>2</sub> )	-0.95 (m <sub>2</sub> )	0.10 (I <sub>2</sub> )	-0.20 (m <sub>2</sub> )
RESP (x <sub>3</sub> )	-1.00 (I <sub>3</sub> )	0.03 (m <sub>3</sub> )	-0.60 (I <sub>3</sub> )	-2.26 (m <sub>3</sub> )
LEVEL (x <sub>4</sub> )	0.56 (I <sub>4</sub> )	0.05 (m <sub>4</sub> )	-0.25 (I <sub>4</sub> )	-0.07 (m <sub>4</sub> )
PNAC (x <sub>5</sub> )	-	-	-7.29 (I <sub>5</sub> )	2.23 (m <sub>5</sub> )
Variance (%)	77%	13%	98.1%	1.6%

For 5 variables:

$$CV_1 = I_1x_1 + I_2x_2 + I_3x_3 + I_4x_4 + I_5x_5$$

$$CV_2 = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + m_4x_4 + m_5x_5$$

RE, relative effectiveness; pH, soil pH (1:5 soil:water); RESP, responsiveness of the soil to applied P determined from the yield for the nil P treatment expressed as a percentage of the largest yield; LEVEL, the number of levels of P applied in each experiment; PNAC, percentage of the total P content of the fertilizer that was soluble in neutral ammonium citrate.

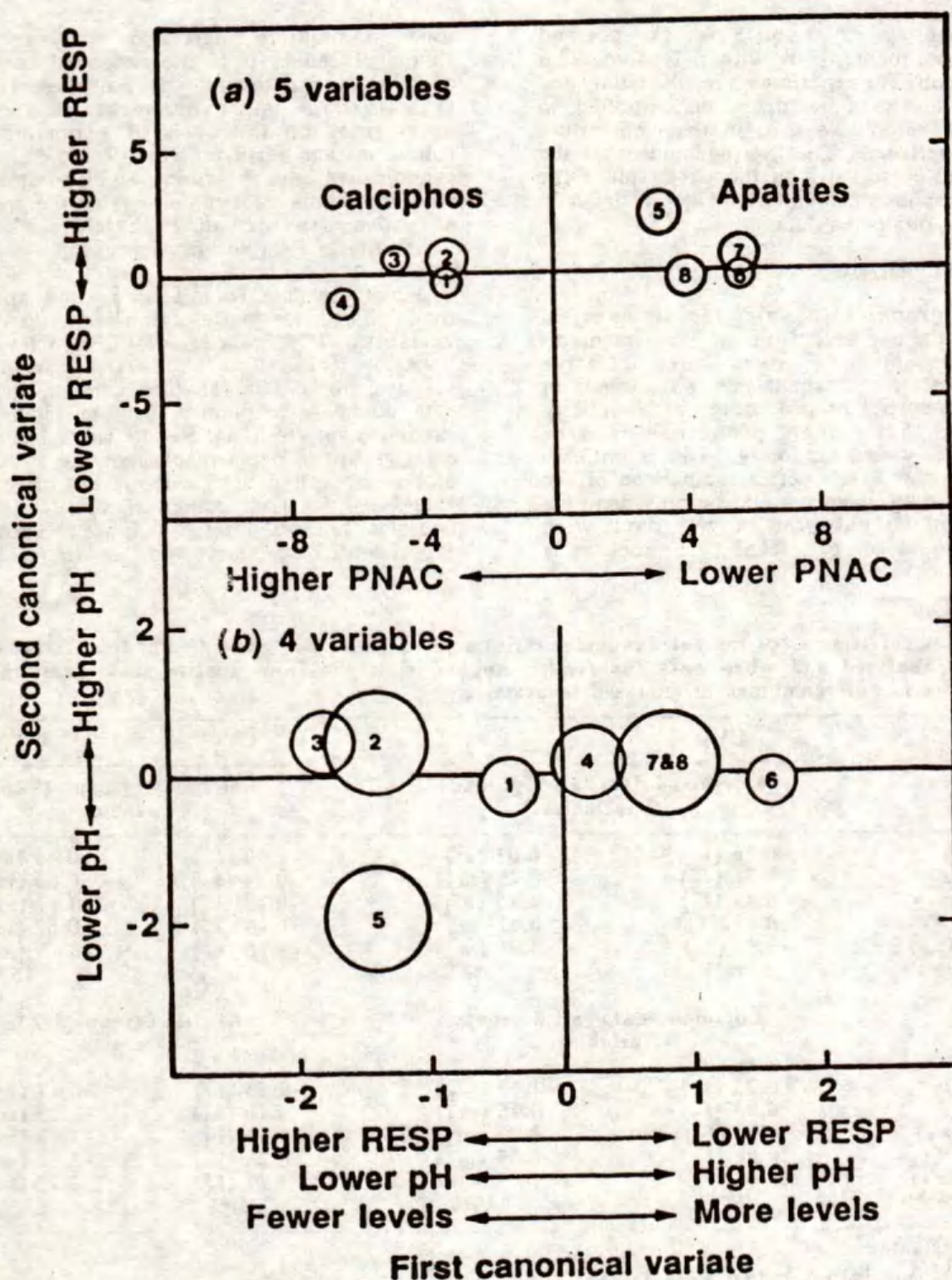


Figure 5. Canonical variate analysis for (a) five variables and (b) four variables when data for the Calciphos and apatite rock phosphate experiments are combined. The eight groups of experiments are listed in Table 1, and the values of the coefficients for the first and second canonical variates are listed in Table 2. The circles are 90% confidence regions for the canonical variate means.

by the first canonical variate which explains 96% of the variance. the major portion of the first canonical variate is due to PNAC, which is the percentage of total P soluble in neutral ammonium citrate. This dominance of PNAC values for Calciphos (>75% of total P in most cases) compared with the apatite rock phosphates (>10% in most cases). The largest contribution to the second canonical variate is from RESP, which is the responsiveness of the soil to applied P (Fig. 5a and Table 2), although PNAC and LEVEL also contributed substantially to this variate, which describes and additional 3% of the variance. We can therefore conclude that there were some systematic differences in RESP and possibly in LEVEL among experiments with apatite and Calciphos.

In view of the dominant and predictable effect of PNAC in separating the groups, canonical variate analysis was also undertaken on the combined Calciphos and apatite rock phosphate data for the four variables remaining after omitting PNAC. The results show that the various groups of experiments were, in most cases, still quite different and that 90% of the variation can be accounted for by the first two canonical variates (Figure 5a and Table 2). A major portion of the first canonical variate, which explains 77% of the variance, is due to the responsiveness of the soil to applied P (RESP), followed by soil pH, and then by LEVEL, which is the number of levels of fertilizer used in the experiments. The second canonical variate predicts and additional 13% of the variance, and the major portion of this variate is due to RE and soil pH. The eight groups of data are not as well discriminated by this analysis, and groups seven and eight coincide. It is apparent that, once the influence of fertilizer type has been removed from the analysis, the systematic differences between the Calciphos and apatite groups relate mainly to site (pH, RESP) and experimental (LEVEL) details and not to differences in CRE. The strong influence of experimental conditions (pH, RESP, LEVEL) rather than fertilizer effectiveness (CRE) in separating the groups of data is probably a consequence of the use of inappropriate experimental conditions by many workers. Fertilizer effectiveness values should not be so sensitive to experimental conditions if experiments are correctly designed and responsive soils used.

Data for Calciphos and apatite rock phosphates were separately analysed by canonical variate analysis using five variables (CRE, pH, RESP, LEVEL, PNAC). For the Calciphos experiments, 94% of the variance in the data is explained by the first two canonical variates (Figure 6a and Table 2). A major portion of the first canonical variate is due to PNAC and LEVEL, and this variate is unable to discriminate among groups one, two and three. The discrete group four comprises 15 glasshouse experiments with non-legumes. The second canonical variate does not discriminate among the four groups. None of the groups of experiments coincide for the apatite rock phosphate, and almost 100% of the variation is accounted for by the first two canonical variates (Figure 6a and Table 2). The first canonical variate explains 98% of the variance and completely resolves the four groups of data. The major component of this variate is PNAC, and it expresses the large differences between reactive and non-reactive apatite rock phosphates. The other variables that describe experimental conditions do not contribute substantially to the variate, so that they probably had a lesser role in determining fertilizer effectiveness. The second canonical variate does not completely resolve the groups and is dominated by RESP and PNAC.

The results of the canonical variate analysis support the arbitrary *a priori* separation of data into eight groups, and they are in general consistent with the conclusions derived from the simple, single variable graphical analysis shown in Figures 1-4. However, the canonical variate analysis indicated that the solubility of the fertilizers in neutral ammonium citrate, which differs greatly among experiments, is a major determinant of fertilizer effectiveness. Both analyses also indicate that much of the variation in CRE values among experiments may be an artefact due to differences in methods of assessment rather than to real differences in fertilizer effectiveness.

#### Changes in the relative effectiveness of rock phosphates within the year of application.

For field experiments in the south-east of South Australia, Beckwith and Tolson (1987) claim that, within the year of application, the effectiveness of rock phosphate compared

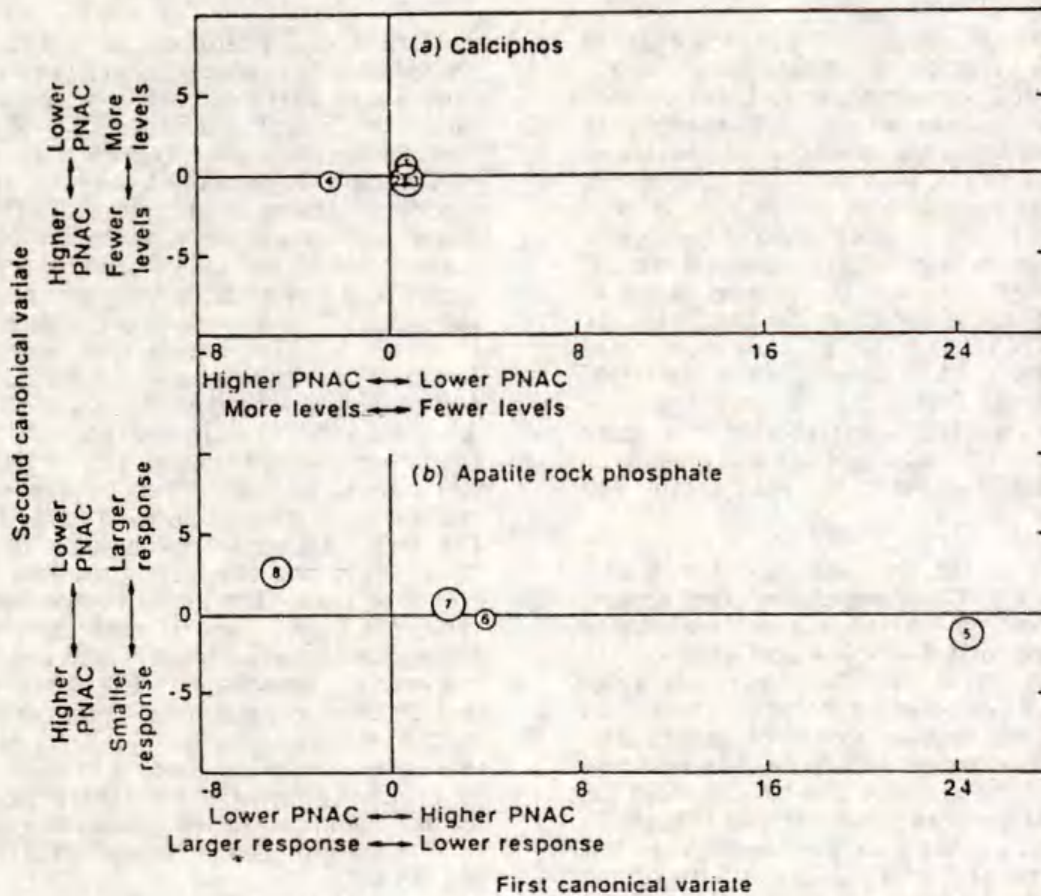


Figure 6. Canonical variate analysis for five variables for (a) Calciphos and (b) apatite rock phosphates experiments. The four groups of Calciphos experiments (groups 1-4) and the four groups of apatite rock phosphate experiments (groups 5-8) are listed in Table 1. The values of the coefficients for the first and second canonical variates are listed in Table 2. The circles are 90% confidence regions for the canonical variate means.

with superphosphate increased with time. In contrast, results from field experiments in south-western Australia (Bolland, 1985b; Bolland *et al.*, 1986), provide no evidence for any systematic change in the effectiveness in the year of application of different types of rock phosphates compared with superphosphate, irrespective of whether fertilizer effectiveness was calculated from plant yield or P content in tissue. For the data of Bolland (1985b) and Bolland *et al.* (1986), the relative effectiveness values of rock phosphate were calculated for low rates of application of fertilizer. The relative effectiveness values of rock phosphates were also calculated from the data of Bolland (1985a, 1986b) and Bolland *et al.* (1986) for different rates of application from curves relating yield to the rate of P applied.

Relative effectiveness values for the rock phosphates were derived by dividing the rate of P applied as superphosphate that was required to produce a particular yield, or P content in plant tissue by the rate of P applied as rock phosphate required to produce the same yield or P content in plant tissue. Relative effectiveness values derived in this fashion for different rates of application of rock phosphate also provided no evidence for any systematic change in the relative effectiveness values of the freshly applied rock phosphates within a growing season, as is shown in Table 3, which was derived from the plant yield data of Bolland (1985b). It should be noted that in this experiment, the relative effectiveness of rock phosphates was very small, and it decreased with rate of application (Bolland and Barrow, 1988).

Table 3. Effectiveness of rock phosphates relative to superphosphate (relative effectiveness or RE) within the year of application derived from plant yield for each several harvests within a year (Bolland, 1985b).

Harvest date (days from sowing on 30 May 1982)	RE values		
	Level of rock phosphate applied		
	100	1000	10 000
----- kg P/ha -----			
<b>Yellow serradella (<i>Ornithopus compressus</i> cv. Pitman)</b>			
14 Sep (106)	0.08	0.05	0.009
11 Oct (133)	0.10	0.06	0.008
4 Nov (167)	0.09	0.06	0.008
<b>Slender serradella (<i>O. pinnatus</i> strain GM 134.1)</b>			
14 Sep (106)	0.06	0.02	0.005
11 Oct (133)	0.07	0.05	0.007
4 Nov (167)	0.08	0.04	0.006
<b>Subterranean clover (<i>Trifolium subterraneum</i> cv. Esperance)</b>			
14 Sep (106)	0.10	0.03	0.011
11 Oct (133)	0.07	0.06	0.009
4 Nov (167)	0.08	0.06	0.009

The results of Beckwith and Tolson (1987) conflict with those of Bolland (1985b) and Bolland *et al.* (1986) because:

- (i) The experiments differ in the methods used to measure P uptake by plants. Beckwith and Tolson (1987) took general harvests and removed clippings whereas Bolland (1985b) and Bolland *et al.* (1986) took random quadrat cuts with no large scale removal of plant material.
- (ii) Beckwith and Tolson (1987) relied on an inadequate method of response definition. They used only two rates of application of rock phosphate and superphosphate, which is insufficient to define the shapes of response curves. Furthermore, the fertilizers were applied to soils that were only moderately P-deficient, so that plant yield was not very sensitive to P supply. As discussed earlier, such limitations may lead to inaccurate values of effectiveness being determined for fertilizers.
- (iii) The field experiments of Beckwith and Tolson (1987) were conducted on siliceous sands, and they were located in moderately high rainfall areas in which soils lose water-soluble P by leaching (Yeates *et*

*al.*, 1984; 1986). Under these circumstances, rock phosphates are being compared with a reference source of water-soluble P that has been mostly removed from the volume of soil that is occupied by plant roots. Consequently, rock phosphates appear to be relatively effective under these conditions but their absolute effectiveness is small.

The near constant values of relative effectiveness for the P fertilizers during the growing season in south-western Australia can be explained by considering the chemical behaviour of the fertilizers in the soil. The water-soluble P compound (monocalcium phosphate) in superphosphate is hygroscopic, and rapidly dissolves and diffuses into the soil (Williams, 1969; 1971). The P in soil solution reacts with soil constituents, and soil solution P concentrations rapidly drop to quite low values (Barrow, 1980). During the course of these reactions, the P in soil solution and that adsorbed onto mineral surfaces provide a changing pool of P, some of which is taken up by plants during the early stages of growth, and provides plants with much of their P requirements for the whole growing season (Bhatti and Loneragan, 1970a, 1970b). Consequently, the continuing decline

in soil solution P levels and the increased retention by soil minerals of sorbed P during the rest of the growing season may not greatly influence the P content of the plant. Although rock phosphates contain little water soluble P, they are able to partly dissolve in soil solution by reaction with hydrogen ions released by soil constituents (Khasawneh and Doll, 1978; Hughes and Gilkes, 1986; Kanabo and Gilkes, 1987b). The extent of dissolution of P from rock phosphate may be inhibited by increasing P and calcium concentrations in soil solution, and the rate of dissolution is reduced by increasing P concentration in soil solution and by increasing soil pH values (Khasawneh and Doll, 1978; Hughes and Gilkes, 1986; Kanabo and Gilkes, 1987a, 1987b, 1988). The essential differences in behaviour between P from superphosphate and rock phosphate are: (i) a much larger proportion of P is released from superphosphate (typically about 80%) than from rock phosphate (5-50%); (ii) the concentration of P in soil solution is initially much higher for superphosphate than for rock phosphate, and only declines to levels similar to those for rock phosphate after several weeks; and (iii) continuing dissolution of some P from rock phosphates commonly occurs over a long period, but the amount is often relatively small (van der Paaux, 1965). These differences in chemical behavior are sufficient to explain why freshly applied superphosphate is a much more effective fertilizer than freshly applied rock phosphates, and also why both fertilizers maintain their relative agronomic effectiveness during the growing season.

In conclusion, it appears that data from field experiments on different lateritic soils in south western Australia have shown that the effectiveness in the year of application of several rock phosphates relative to superphosphate remained small and approximately constant over the entire growing season. These and similar experiments have been undertaken at widely separated locations in different years, and they involved various plant species so that it is probably that this result will apply to many other crop-soil combinations.

#### Residual effectiveness (RRE)

Relative to freshly applied superphosphate, the mean values of the published data show that the residual effectiveness values (RRE or RV) of both rock phosphate types for up to

eight years after application were small and approximately constant (Figure 7). Apatite rock phosphates remained about 12% as effective as freshly applied superphosphate up to eight years after application compared with about 13% for Calciphos. The mean data for superphosphate show that, relative to freshly applied superphosphate, the effectiveness of superphosphate declined markedly after application: by about 40% in the first year, a further 15% in the second year, and by about 30% over the remaining six years. Consequently, about six years after application the residual effectiveness of superphosphate was small and similar to the effectiveness of rock phosphates (Figure 7a). The residual value of the various rock phosphates, relative to freshly applied superphosphate, differed greatly among individual experiments, ranging between 5 and 30% (Figure 7a). The decline in the residual value of superphosphate also varied markedly among individual experiments and particularly in the first two years after application. Values of RRE were 15-70% in the first year, following by a further reduction of 10-25% in the second year (Figure 7a). Reasons for these marked differences in the residual value of the fertilizers among sites cannot be identified from the limited data for edaphic and other factors for each experiment that were provided by authors. No systematic relationship could be deduced among the residual value of the P fertilizers and soil pH, average annual rainfall, soil type, the capacity of the soil to adsorb P, plant species, the method of applying the P fertilizers or any combination of these factors.

There is some confusion in the literature about the appropriate criteria for determining the residual value of rock phosphates. For field experiments in south-western Australia, when the effectiveness of previously applied rock phosphate is calculated relative to superphosphate freshly applied each year, the relative residual effectiveness (i.e. RRE values) of rock phosphates remains approximately constant in successive years (Bolland and Bowden, 1986). This is illustrated in Figure 8a, using data from a field experiment at Mt Barker, Western Australia (Bolland *et al.*, 1984). However, both in Australia and elsewhere, the effectiveness of previously applied rock phosphates is often calculated relative to the effectiveness of previously applied

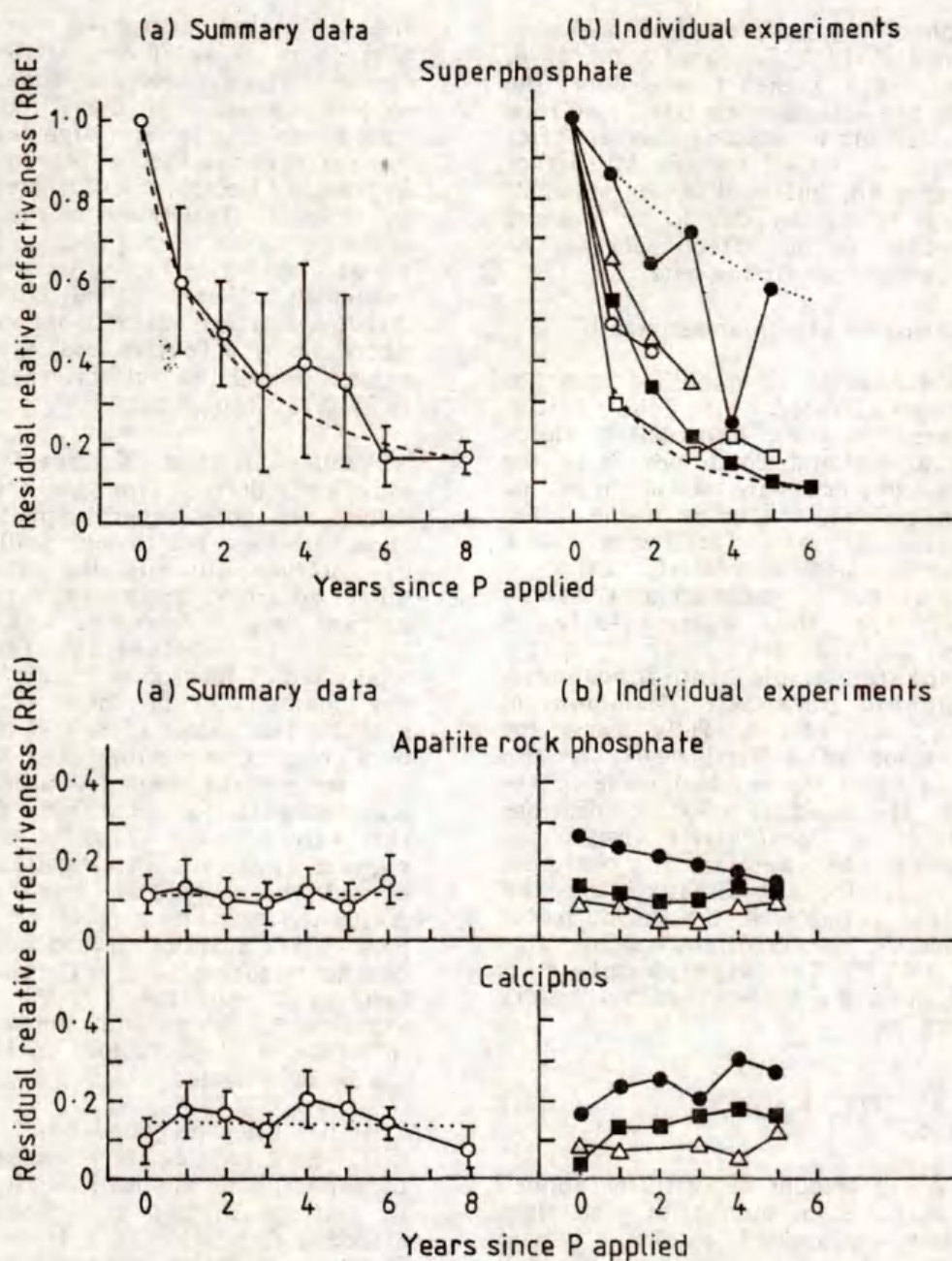


Figure 7. The residual effectiveness of superphosphate, apatite rock phosphate and Calciphos relative to current superphosphate (residual relative effectiveness or RRE) calculated from data for published field experiments: (a) mean  $\pm$  s.d. ( $n$  varies from 3 to 11 for each fertilizer in each year); (b) data from some of the individual experiments. The dashed lines in (a) are as follows: for superphosphate, when the value of the K coefficient for the residual value function for the Decide model is 1.5, and for each of the rock phosphates, the mean relative effectiveness value for all years. For superphosphate in (b), values for the K coefficient of the residual value function of the Decide model are 0.5 for the dashed line, and 7.0 for the dotted line. Individual experiments are: Superphosphate - Trumble and Donald (1938), ■ Arndt and McIntyre (1963), ● Barrow and Carter (1978), △ Bolland *et al.* (1984), ▽ Bolland 1986; Apatite rock phosphate - ■ Arndt and McIntyre (1963), △ QRPI (Bolland and Bowden 1984, ■ QRP2 (Bolland and Bowden 1984); Calciphos - △ Bolland *et al.* (1984), ■ C500-1 (Bolland and Bowden 1984), ● C500-2 (Bolland and Bowden, 1984).



superphosphate (e.g. Lipsett and Williams, 1970; Hammond, 1978; Engelstad *et al.*, 1974; Yost *et al.*, 1982). When this is done, the residual relative effectiveness (RRE) of rock phosphates appears to improve in years after application, as is shown for the Mt Barker data in Figure 8b, but most of the apparent improvement is actually due to the marked relative decline in the effectiveness of the previously applied superphosphate.

#### General discussion of agronomic results

This re-evaluation of published data has clearly demonstrated that the initial effectiveness of rock phosphates under Australian agricultural conditions is in the most of the cases markedly inferior to that of superphosphate. On the bases of the initial effectiveness of the fertilizers, rock phosphates applied at realistic rates of application cannot be regarded as economic substitutes for the water-soluble P fertilizers (ordinary or single superphosphate, triple superphosphate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate). In order to fully assess the economic value of a fertilizer it is also necessary to know the residual value of the fertilizer. The residual value of previous dressings is a particularly important consideration when determining optimum fertilizer rates for subsequent crops and pastures. For example, in the Decide model (Bowden and Bennett, 1976), the residual value function (RVF) for superphosphate is calculated using the known fertilizer history and is given by:

$$RVF = \sum_{t=0}^n F[K/(K+t)] \quad (1)$$

where  $F$  is the amount of fertilizer applied (e.g. kg P/ha),  $t$  is the number of years since the fertilizer was applied, so that  $t$  is zero in the year of application, and  $K$  is a coefficient. In the Decide model, the value of the  $K$  coefficient for superphosphate for south-western Australia is assumed to be 1.0 (Bowden and Bennett, 1976). The average value of the  $K$  coefficient for the superphosphate data shown in Figure 7a is about 1.5. However, the value of the  $K$  coefficient for superphosphate for individual experiments varied markedly, ranging from about 0.5 to 7.0 (Figure 7b). Clearly, different values of the constant  $K$  should be used for different

sites. For rock phosphates the data suggest that there is relatively little change in fertilizer effectiveness with time (Figure 7b), so that the value of the  $K$  coefficient for rock phosphates is very large (i.e. >30). For some experiments there appear to be systematic increases or decreases with increasing time in the residual effectiveness of rock phosphates, although values remain small. For example, the residual value of apatite rock phosphate calculated by Barrow (1980) from the data of Arndt and McIntyre (1963) shows a systematic decrease in effectiveness with time, but values or relative effectiveness were low (0.25-0.15) throughout.

Values of the  $K$  coefficient were statistically derived from the data, and these values for both superphosphate and rock phosphate were not systematically influenced by soil type, soil pH, the capacity of the soil to adsorb P, mean annual rainfall, plant species (crop or pasture, legume or non-legume), or whether the fertilizer was topdressed or incorporated into the topsoil or any combination of these factors. It is probable that values of  $K$  will be determined by a complex interaction of these factors, so that the present limited and imprecise data are inadequate for identifying the nature of this interaction. This is a topic that requires systematic investigation if the role of rock phosphates and other P fertilizers in Australian agriculture is to be defined. In particular, authors should provide a full characterization of soil and fertilizer properties together with details of experimental design and climate, so that the influence of these factors on residual value can be investigated.

It has been suggested by several workers that, when studying the response of plants to rock phosphate applications, it is necessary to distinguish between those properties affecting dissolution of P from the fertilizer in the soil solution and those controlling the removal of P from soil solution. The latter include the reaction of soil solution P with soil constituents (e.g. Larsen and Probert, 1968) and the uptake of P by plants (Syers and Mackay, 1986). Because these quite discrete processes (dissolution, P retention) for rock phosphate are not identical to those operating for superphosphate the residual value of rock phosphate may not be adequately described by equation 1. However, equation 1 can be used to describe the decreasing effectiveness of

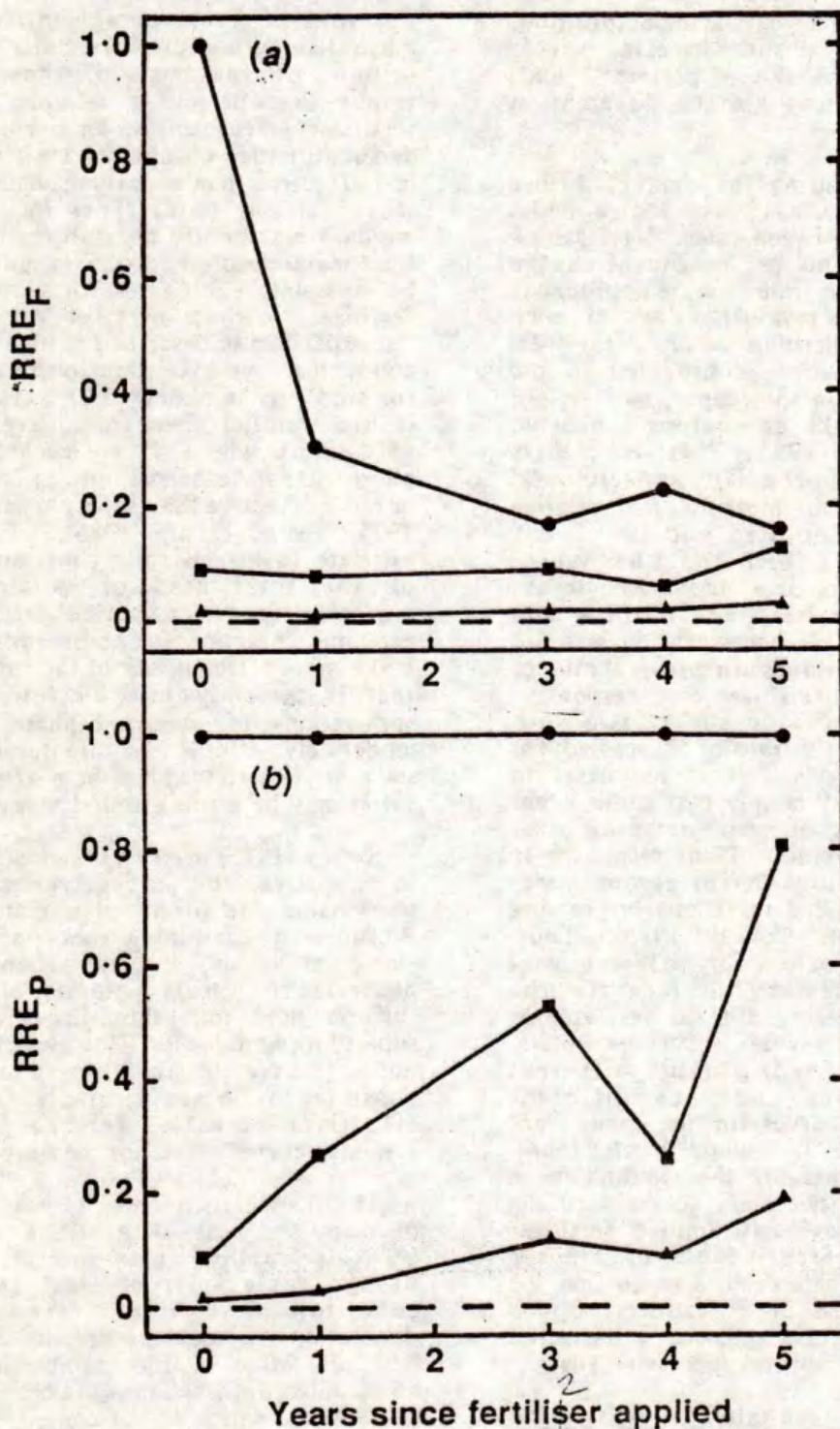


Figure 8. Residual relative effectiveness (RRE) of P fertilizers applied once only in May 1976 calculated each year from plant yield (a) relative to superphosphate freshly applied each year (RREF), (b) relative to the original 1976 superphosphate treatments (i.e. previously applied superphosphate, RRE<sub>p</sub>). Data are from Bolland *et al.* (1984). ● Superphosphate, ■ Calciphos, ▲ C-grade ore.

superphosphate in the years after application, though the rate of decline in effectiveness probably varies with site (experiment) and, for the same site, may also be different in different years.

Probert (1985), using the data of Fisher and Campbell (1972), has shown that a model that distinguishes between rates of release of P from fertilizers and its subsequent change in effectiveness with time is more appropriate for comparing the residual values of rock phosphate and superphosphate. However, insufficient information is provided in the data sets reviewed in this paper, so it is not possible to undertake an analysis similar to that of Probert (1985). It is clearly imperative that appropriate experimental designs are used to measure the relative effect of freshly applied and previously applied fertilizer (i.e. CRE and RRE values) and also that appropriate measurements are undertaken to fully characterise fertilizer and soil properties. It is necessary to measure both CRE and RRE values using several rates of application of each fertilizer to P-responsive soils in order to define the relationship between yield and the rate of P applied for each fertilizer. Also, it is essential to ensure that it is only P supply that limits plant growth by applying adequate rates of other essential plant nutrients. Plant responses to fertilizer applications differ among years because of uncontrolled variations in growing conditions for plants (Colwell, 1985). Thus, to determine CRE values for different plant species it is necessary to measure the effectiveness of freshly applied fertilizer at the same site for several successive years, because each year will provide different growing conditions and thus different fertilizer response curves for the same plant species (e.g. Figure 2, Bolland *et al.*, 1984). Also, in order to measure the residual value of fertilizers, it is necessary to measure the effectiveness of previously applied fertilizer relative to the effectiveness of freshly applied superphosphate each year, so that the relative effectiveness of P fertilizer applied one year ago, two years ago, etc. is measured at the same site for several successive years.

#### Role of rock phosphate in Australian agriculture

It is evident from the above analysis of published data that at present there is insufficient information to clearly define

the role of rock phosphate fertilizers in Australian agriculture. We conclude from this review, on the basis of those published results that permit a reliable estimate of fertilizer effectiveness, that both Calciphos and apatite rock phosphates are generally much less effective than superphosphate in both the short and long term. Thus rock phosphates, which are presently not substantially cheaper than manufactured fertilizers, are unlikely to be economic substitutes for water-soluble P fertilizers in those parts of Australia where the experiments described in this review were conducted. An exception to this conclusion is for acid (pH in water <5.0), very sandy soils in high rainfall areas (mean average rainfall >800 mm) where P is leached and rock phosphates have been found to be as effective or more effective than superphosphate (Wright, 1975; Yeates *et al.*, 1986). However, we estimate that such soils constitute about 1% of the total area of Australian soils currently used for agriculture. A more economic practice for these soils may be to make more efficient use of the superphosphate that is presently lost by leaching. Split applications of superphosphate or use of moderately soluble manufactured fertilizers such as dicalcium phosphate (Deeley *et al.*, 1987) may be a preferred strategy.

Swaby (1975) used an imaginative approach to improve the effectiveness of rock phosphate. He produced a material termed Biosuper by combining rock phosphate with elemental sulfur, and relied on Thiobacilli bacteria to oxidise elemental sulfur to sulfuric acid and thus in effect produce superphosphate *in situ*. However, Biosuper was not a successful fertilizer and it is not possible to obtain estimates of relative effectiveness values for the fertilizer as response curves were not measured.

The poor effectiveness of rock phosphates on many soil types in Australia, as evaluated by this review, may be attributed to unfavourable soil chemical and climatic conditions that do not favour extensive dissolution of rock phosphates in the soil. The pH value of these soils (in water) is >5.0, thus limiting the dissolution of rock phosphates which is promoted by low pH (Khasawneh and Doll, 1978). The soils are often poorly buffered so a minor amount of dissolution of rock phosphate may increase soil pH and inhibit further dissolution. Furthermore, most of the agricultural regions

where the experimental sites were located are in areas where the rainfall is strongly seasonal, and dissolution of rock phosphate is retarded when soil water contents fall below field capacity (Kanabo and Gilkes, 1988). Many of these light textured soils have low water-holding capacities, and the fertilized surface soil rapidly dries out among rains, thereby limiting dissolution of P from rock phosphates.

Rock phosphates are unlikely to offer any advantage over water-soluble P fertilizers on highly P-retentive soils, since P from both sources will be poorly available to plants (Kanabo and Gilkes, 1987a). Rock phosphates should be most effective on low P-fixing soils with a low pH and high pH buffering capacity, particularly if the soils are moist for long periods in the year. Future experiments should be directed toward these soil types and should use finely ground, reactive rock phosphates, as these are much more effective than low-reactive Australian and Island rock phosphates, such as Queensland, Mt Weld, Nauru and Christmas Island apatites, that have been used in many Australian experiments (Khasawneh and Doll, 1978). However, even the most reactive rock phosphates have proved to be relatively ineffective for Australian agricultural conditions, but further work for a larger range of soils and plant species is required. In designing these experiments, it should be considered that cereals and other plant species that require high levels of available P during the early stages of growth are poorly suited to fertilization with rock phosphates. Tree crops and permanent pastures may make better use of rock phosphates, but we can offer no clear evidence from Australian experiments in support of this proposal.

In 1991 a group of rural research funding bodies, fertilizer manufacturers, State Departments of Agriculture and universities commenced a large national series of field experiments to identify the role of reactive rock phosphates in Australian agriculture. These experiments are confined to the use of rock phosphate as a maintenance fertilizer on permanent pastures. The 30 sites extend 5 000 km from the wet subtropical areas of North Queensland to the cool temperate climate of the south coast region of Western Australia. The soils are acid and range in texture from sandy loams to clays. The experiments include annual applications of superphosphate as a reference treatment, and

they will be monitored for at least five years, so that the residual effectiveness of fertilizers can be ascertained.

#### Laboratory studies of rock phosphate/soil reaction

Because of the quite different properties of apatite rock phosphates and calcined iron-aluminium rock phosphates, the results of the laboratory research will be reviewed separately for the different fertilizer types.

##### (i) Apatite rock phosphates

Several workers have carried out laboratory and sometimes co-ordinated laboratory/glasshouse experiments with apatite rock phosphates on Australian soils to relate fertilizer effectiveness to the extent of dissolution of these rock phosphate fertilizers (Hughes and Gilkes, 1984; Hughes and Gilkes, 1986a,b; Oonkasem, 1987; Oonkasem and Gilkes, 1986). This work has mostly employed measurement of changes in exchangeable Ca in fertilized soil as an indication of the extent of dissolution of rock phosphate (i.e. the  $\Delta$ Ca method of Hughes and Gilkes, 1984).

#### Extent of dissolution of apatite rock phosphates in Australian soils

An important conclusion that can be drawn from laboratory studies that have measured the dissolution of apatite rock phosphate in a variety of soils from different countries (Hughes and Gilkes, 1986b) is that the extent of rock phosphate dissolution in Australian soils is relatively minor. For example, for 5 mg of Sechura rock phosphate/g of soil incubated with soil for 31 days, the mean percentage dissolution for nine Australian soils was 16%, whereas for 11 South American soils, the value was 35%. It appears that Australian soils are much less effective than these South American soils in promoting the dissolution of rock phosphate. These experiments relate to quite short incubation times (up to 100 days), and under field conditions it is probable that all rock phosphate applied to acid soils will eventually dissolve. However, it is the extent of dissolution of rock phosphate during the growth period of the annual crops and pastures that are used in Australia, that is of major significance and it is evident that only a minor proportion of rock phosphate

fertilizers will dissolve in this time (Benbi *et al.*, 1988. Measurements of PR dissolution in Australian soils (Hughes and Gilkes, 1986a,b; Kanabo, 1986; Kanabo and Gilkes, 1987 a,b,c; Kanabo and Gilkes, 1988 a,b,c,d,e; Oonkasem and Gilkes, 1986) and also those reported for other soils (van der Paauw, 1965; Smyth and Sanchez, 1982; Syers and Mackay, 1986), have demonstrated that much of the total dissolution of rock phosphate in soils occurs within a few days, and that subsequent dissolution occurs at a much slower rate. Thus the pattern of P release from rock phosphate and water-soluble P fertilizers is somewhat similar, and it is misleading to consider that rock phosphate will dissolve at a nearly constant rate over time (i.e. it is not simply a 'slow release' source of P).

#### Factors that affect dissolution of rock phosphate in Australian soils

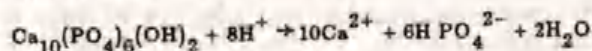
Khasawneh and Doll (1978) identified seven factors that might be expected to affect the extent of dissolution of rock phosphate in soils on the basis of theoretical (mass action) concepts:

- Concentration of H<sup>+</sup> in soil solution and H<sup>+</sup> buffering capacity of the soil;
- Concentration of P (phosphate) in soil solution and P buffering capacity of the soil;
- Concentration of Ca<sup>2+</sup> in soil solution and Ca<sup>2+</sup> buffering capacity of the soil;
- Composition of rock phosphate, especially the extent of carbonate substitution for phosphate;
- Particle size of rock phosphate;
- Degree of mixing of rock phosphate and soil;
- Level of application of rock phosphate to soil.

Khasawneh and Doll (1978) also discussed the mineralogical and chemical characteristics of soils that may influence properties (a)-(c) listed above. It is convenient to discuss the results of laboratory research into the dissolution of apatite rock phosphate in Australian soils under the same seven headings.

a) The influence of soil acidity. A stepwise multiple regression analysis of the extent of dissolution of reactive Sechura rock phosphate in nine Australian lateritic soils (Hughes and Gilkes, 1986b) identified soil pH (-ve, 81% of

variation) together with oxalate extractable Fe (+ve, 10%) as being the soil properties that were most predictive of the dissolution of rock phosphate applied at a rate of 340 g RP g<sup>-1</sup> soil. However, for higher rates of rock phosphate addition (e.g. 5400 g rock phosphate g<sup>-1</sup> soil) other soil properties were more predictive of dissolution (e.g. pyrophosphate soluble Al, +ve, 92%). Indeed for different suites of soils from Australia, Nigeria and South America and for different rates of fertilizer addition, it was shown that various soil properties are most predictive of rock phosphate dissolution, and only in the instance cited above was pH a predictive property. A subsequent re-examination of these soils (R.J. Gilkes and J.C. Hughes, unpublished data) has shown that soil acidity titratable to pH 6 was the property that was most highly predictive of rock phosphate dissolution for all soils. Mechanisms proposed on the results of statistical correlation procedures should always be viewed with caution as correlations may not be indicative of actual processes. However, an identical result (Kanabo and Gilkes, 1987a) was found for an Australian lateritic soil adjusted to various pH levels. These authors (Kanabo and Gilkes, 1987a) were able to modify soils so that most properties, other than pH, were little affected and once again titratable acidity proved to be highly predictive of PR dissolution. We can, therefore, conclude that the extent of dissolution of rock phosphate in Australian soils is greatly affected by the supply of exchangeable protons (H<sup>+</sup>) for the dissolution reaction, which can be described by the schematic equation:



The H<sup>+</sup> is supplied mostly by exchange of H<sup>+</sup> from surfaces of soil minerals and organic matter. Consequently values of soil pH may be poorly predictive of rock phosphate dissolution, and the pH buffering capacity of the soil generally provides a much better prediction. Thus the pH buffering capacity of the soil needs to be considered in identifying soils suitable for fertilization with rock phosphate. Under practical agricultural conditions, an acid sand may be less able to quickly dissolve adequate amounts of rock phosphate than a heavier textured soil at a higher pH value. It should be stressed that soil pH exerts little or no influence on the dissolution of water soluble P fertilizers such as SP and ammonium phosphates, in which

most of the P content dissolves quickly and almost completely in all soils provided that sufficient water is available. The quite different effects of soil acidity on the dissolution of rock phosphate and water-soluble P fertilizers may be partly responsible for the RE values of these fertilizers being different for different soils (see earlier discussion).

(b) The influence of soil P status. No experiments have directly investigated the influence of P concentrations in soil solution on rock phosphate dissolution in Australian soils. A stepwise regression analysis (Hughes and Gilkes, 1986b) did not identify soil P status as a factor that limited dissolution of rock phosphate in Australian soils. Total P for Nigerian soils and isotopically exchangeable P for South American soils were negatively related to PR dissolution for high levels of PR addition, but were much less important properties than pyrophosphate (+ve) and oxalate (+ve) extractable Fe, respectively (Hughes and Gilkes, 1986b). The capacity of the soil to adsorb P (i.e. the P buffering capacity of the soil) may potentially play a major role in the dissolution of apatite rock phosphate in soil (Bolland and Barrow, 1988). In a computer simulation model of rock phosphate dissolution, it was indicated as being more important than the pH buffering capacity of the soil. However, for some soils the P buffering capacity and the pH buffering capacity of the soil are positively correlated, so that the relative importance of the two properties in promoting rock phosphate dissolution cannot be determined.

(c) The influence of soil Ca status. A stepwise regression analysis (Hughes and Gilkes, 1986b) identified exchangeable Ca as being a minor predictive variable (explaining only 0.5 of variation) in determining the dissolution of high levels of application of rock phosphate addition to soils. Furthermore, exchangeable Ca was positively related to the extent of dissolution, whereas the common ion effect would be expected to lead to a negative relationship (Syers and Mackay, 1986). Kanabo (1986) added various amounts of soluble Ca to soils before incubating them with rock phosphate, and he found that there was little or no effect on rock phosphate dissolution as estimated by measurement of the P extracted by sodium bicarbonate (Colwell, 1963) extractant. We can, therefore, conclude that for the

Australian soils investigated by Kanabo (Kanabo, 1986) it is the supply of  $H^+$  ions (i.e. titratable acidity) of the soil that primarily determines the extent of rock phosphate dissolution.

(d) The composition of rock phosphate. The only comprehensive study of the influence of rock phosphate composition on the dissolution of rock phosphate in an Australian soil was carried out using 23 P fertilizers (Hughes and Gilkes, 1986a). The soil used was a sandy colluvial lateritic soil (petroferic udipsamment), which is a common soil type in Australia (Fig. 1). The results of the study were consistent with those of other workers (Khasawneh and Doll, 1978), who found that the extent of dissolution of apatite rock phosphates increases with the unit cell *a* dimension, carbonate substitution and  $CaO/P_2O_5$  ratio. Evidently reactive (carbonate substituted) rock phosphates such as North Carolina rock phosphate are the most suitable rock phosphates for use as fertilizers for Australian soils (mean value = 20% dissolution). Much smaller amounts of non-reactive rock phosphate dissolved (e.g. Queensland rock phosphate, 8%) in the Australian soil. Much higher proportions of both rock phosphates (46%, 18%, respectively) dissolved in a South American oxisol for which rock phosphates are regarded as practical substitutes for WSP fertilizers (Hammond, 1978).

(e) Particle size of PR. The dissolution of various size fractions of reactive North Carolina rock phosphate was measured in a Australian lateritic podzolic soil (Kanabo and Gilkes, 1987a). For an application rate of  $3.5 \mu g$  rock phosphate  $g^{-1}$  of soil and an incubation time of 35 days, the percentage of rock phosphate dissolved increased from 12 to 19% as particle size decreased from 150-250  $\mu m$  to  $<38 \mu m$ . these results are consistent with those of many glasshouse and field experiments that have shown that the effectiveness of rock phosphate increases with decreasing particle size (Khasawneh and Doll, 1978).

(f) Degree of mixing of rock phosphate and soil. Water-soluble P fertilizers are generally more effective if applied in bands, whereas rock phosphates are more effective when mixed through the soil (Khasawneh and Doll, 1978). An explanation for this effect is that less rock phosphate dissolves within a

band due to a temporarily limited supply of  $H^+$  ions for dissolution and a temporary accumulation of dissolution products ( $Ca^{2+}$ , P) which would reduce dissolution due to the common ion effect. Direct measurements using the  $\Delta Ca$  technique of the extent of dissolution of North Carolina rock phosphate in an Australian lateritic podzolic soil (Kanabo and Gilkes, 1987b) have shown a reduction in rock phosphate dissolution due to banding. For example, for an application rate of 125  $\mu g$  rock phosphate  $g^{-1}$  of soil and incubation time of 7 days, about 5% of mixed rock phosphate had dissolved compared with 3% of banded rock phosphate. This difference was reduced after 35 days when diffusion had enabled additional  $H^+$  to enter the band and  $Ca^{2+}$  plus P to leave it. By this time 7% of the rock phosphate had dissolved for the mixed treatment and 6% for the banded treatment. Once again only a minor proportion of the rock phosphate fertilizer had dissolved in the Australian soil, which must be contrasted with the situation for WSP fertilizers, where almost all the P dissolves quickly for both mixed and banded treatments.

(g) Level of application of rock phosphate to the soil. Several workers have demonstrated that the proportion of rock phosphate that dissolves within the soil decreases with level of application (Hughes and Gilkes, 1984; Hughes and Gilkes, 1986a,b; Smyth and Sanchez, 1982). As pointed out earlier in this review, this influence of rate of fertilizer application contrasts with the behaviour of WSP fertilizers that dissolve quickly and almost entirely for all rates of application. A consequence of this difference in behaviour is that it is not possible to derive a single number for the substitution value of rock phosphate for water-soluble P fertilizers because this substitution value is dependent on the level of fertilizer addition. Kanabo and Gilkes (1988e) have shown that for an Australian lateritic podzolic soil and  $<90 \mu m$  North Carolina rock phosphate, the relationship between the amount of rock phosphate applied (R) and rock phosphate dissolved ( $\Delta P$ ) can be described by the equation:

$$\Delta P = A (1 - \exp(-CR)) \quad (2)$$

where A and C are constants. This relationship was followed for several periods of soil-fertilizer contact, with the constants changing with time. If it is assumed that the

dissolved P is as available to plants as P from water-soluble fertilizers and that plant response to P follows the normal Mitscherlich response function, then the yield (Y) response curve is described by the function:

$$Y = D (1 - \exp(-G(1 - \exp(-CR)))) \quad (3)$$

where D and G are constants. The plant response curves for rock phosphate will, therefore, not be of the Mitscherlich type (shape). Depending on the values of the constants in equation (3), the maximum yields for rock phosphate may be much less than the maximum yield for SP, as has been observed in many field and glasshouse experiments. It appears that these observed differences in response function can be simply explained by a consideration of the very different dissolution behaviours of SP and rock phosphate.

#### Calcium iron - aluminium rock phosphate fertilizers

This class of fertilizer should be considered separately from the apatite rock phosphate fertilizers, since their quite distinct mineralogical and chemical properties may indicate that they experience distinctly different chemical reactions with soil constituents. For example, Calciphos, Citraphos and Phospal are citrate soluble, structurally disordered (i.e. non-crystalline) residues of former citrate insoluble, crystalline calcium and/or iron and/or aluminium phosphate minerals that have been dehydroxylated by heating at temperatures in the vicinity of 500°C (Gilkes and Palmer, 1979; Palmer, 1980). There is a tendency for these fertilizers to rehydroxylate and recrystallize on exposure to water, and consequently, for their solubility in citrate (i.e. "availability" of P) to decrease. Such rehydroxylation is associated with a decrease in plant growth, and attention has been drawn to the influence of calcination temperature on the susceptibility of these fertilizers to rehydroxylation (Palmer and Gilkes, 1982a). Fortunately under ambient conditions of humidity and temperature, such as occur in soils, rehydroxylation may proceed slowly relative to fertilizer dissolution and the growth period of plants. Laboratory measurement of the dissolution of Calciphos and Phospal in soils using the Ca technique have shown that for these fertilizers as for apatite rock phosphates much of the total

dissolution occurs quite rapidly before significant rehydroxylation occurs (Hughes and Gilkes, 1986a). For example, when  $1.5 \text{ mg } \mu\text{g}^{-1}$  of Calciphos and Phospal were mixed with a sandy Australian soil 27 and 20% respectively of these fertilizers had dissolved after one month. Unlike the apatite rock phosphate fertilizers the extent of dissolution of Calciphos and Phospal in a South American oxisol was not greatly increased relative to amounts for the less reactive Australian soil. This apparent insensitivity to soil type may indicate that, in contrast to apatitic rock phosphates soil properties other than exchangeable acidity, they have a major effect on the extent of dissolution of calcined calcium iron aluminium rock phosphate fertilizers. Some support for this proposal is found in the tendency for calcium iron-aluminium P fertilizers to be more soluble than are apatite rock phosphates in the alkaline citrate solutions used as statutory tests to assess plant available P in fertilizers (Deeley *et al.*, 1987; Gilkes and Palmer, 1979; Palmer, 1980). The apatite fertilizers are relatively more soluble than calcium iron-aluminium rock phosphates in acidic citrate extractants (Deeley *et al.*, 1987; Gilkes and Palmer, 1979; Palmer, 1980).

#### Soil testing

One consequence of the substitution of rock phosphates for SP in agriculture that is often neglected is the need for recalibration of the relationships between plant yield and soil test values when completely different fertilizer types have been used on soils. This is particularly relevant to rock phosphate fertilizers that leave a considerable residue of undissolved rock phosphate in the soil for several years after application (Benbi *et al.*, 1988). The Colwell (Deeley *et al.*, 1987) version of the original Olsen (1954) sodium bicarbonate soil test is widely used in Australia to predict yields of crops and pastures due to previous P applications (Bowden and Bennett, 1976). However, it has consistently been found that when the Colwell soil test values, or other soil test (e.g. Olsen, Bray, lactate) values are related to yields measured during the next growing season that separate calibrations are required for soils previously fertilized with SP and rock phosphate (Bembi *et al.*, 1988; Bolland, 1985a; Bolland and Allen, 1987; Bolland *et al.*, 1987; Bolland and Bowden,

1982; Bolland and Bowden, 1984; Bolland and Bowden 1986; Bolland *et al.* 1988; Bolland *et al.*, 1988; Bolland *et al.*, 1987. Likewise when soil test values are related to subsequent yields produced in glasshouse pot experiments, separate calibrations are required for rock phosphates and water-soluble P fertilizers (Ghosh and Gilkes, 1987; Yeates and Allen, 1987).

#### Partially acidulated rock phosphates (PARPS)

Recently research has been undertaken in Australia to assess various PARPS (Deeley *et al.*, 1987) as substitutes for SP. PARSP are essentially mixtures of various proportions of rock phosphate and water soluble P (WSP, usually monocalcium phosphate) containing different amounts of sulphur as either calcium sulphate or elemental sulphur. PARPS have been reported to be effective fertilizers in New Zealand for permanent pasture (Harrison, 1988), and may also be preferred for pastures on very sandy, acid soils where WSP is lost by leaching (Yeates *et al.*, 1984). For the majority of Australian soils the water soluble P content of PARPS would be expected to have identical values of RE and RV to the water-soluble P in SP. The water-insoluble P compounds in PARP (i.e. mainly apatite) would be expected to behave in a similar fashion to the rock phosphate fertilizers discussed in this article.

#### Limitations of existing rock phosphate research in Australia and suggested further research

The rock phosphate research programme in Australia during the past century has served to highlight many deficiencies in our knowledge of factors controlling the effectiveness of P fertilizers applied to Australian soils, and it has thus identified areas for further research. It is evident that values of RE (i.e. CRE) and RV for SP and all rock phosphate fertilizers measured in the field in Australia are management and site specific, so that at present response functions can not be readily transferred to other sites and management systems without calibration by on-site experiments (Bolland and Bowden, 1986; Bolland *et al.*, 1988). Some further research on the use of P fertilizers in Australia needs to be directed to identifying the effects of seasonal conditions on plant yield responses to freshly and previously applied P fertilizers. The relationships among values



of RE and RV for different P fertilizers, and various soil and fertilizer properties need to be specifically and systematically studied for different plant species and management systems (minimum tillage, mechanical cultivation of the soil, various rotation systems). Another valuable approach for identifying the factors that may affect rock phosphate dissolution in soils is the construction of computer models. A suitable model has been developed (Kirk and Nye, 1986) and it was applied to results of a field experiment on Australian soil (Bolland and Barrow, 1988). The model was able to simulate the decrease in effectiveness of apatite rock phosphate with increasing level of application. It indicated that the P buffering capacity of the soil and the pH buffering capacity of the soil are likely to influence rock phosphate effectiveness (Bolland and Barrow, 1988). Models can be a valuable complement to field and laboratory research. As pointed out earlier, most of the laboratory research on mechanisms of rock phosphate dissolution in Australian soils has been for West Australian soils. Although similar soils and climatic conditions occur elsewhere in Australia, it is desirable that additional soil types be investigated for their capacity to promote dissolution of rock phosphates. Finally, it is highly desirable that the agronomic effectiveness of reactive rock phosphates be determined in field experiments on prospective acidic soils throughout Australia.

### CONCLUSIONS

The long history of research on rock phosphates in Australia indicates that rock phosphates are poorly effective relative to freshly applied SP in both the year of application and in the longer term. The poor performance of rock phosphates in the field in Australia is mostly due to the limited dissolution of rock phosphates in Australian soils. This low extent of dissolution has been due to the use of non-reactive rock phosphates and to the intrinsic properties of the soils, which although they are acidic and P deficient (Robson and Gilkes, 1980) they are not sufficiently chemically reactive to cause the dissolution of a major proportion of the rock phosphate applied as fertilizer. Although many Australian soils contain moderate amounts of free iron oxides such as goethite that are known to increase PR dissolution (Kanabo and Gilkes, 1987b), P retention values are generally small to

moderate. Australian soils mostly have quite low values of titratable acidity (i.e. the capacity of the soils to supply  $H^+$  ions which is the  $H^+$  buffering capacity of the soil), which is the prime factor controlling dissolution (Kanabo and Gilkes, 1988a). The Mediterranean and other seasonal climates of the agricultural regions of Australia may also be disadvantageous for the use of rock phosphate, since the topsoils are dry for much of the year and dissolution of rock phosphate is inhibited when soil moisture decreases below field capacity (Kanabo and Gilkes, 1988a). The climate and general low fertility status of many Australian soils prevents the accumulation of dense organic surface soil horizons such as occur in pastures in New Zealand, where the intense biological activity is believed to promote more rapid dissolution of rock phosphates (Quin, 1981).

It is emphasized that the values of RE and RV discussed in this review were estimated for very low levels of application of rock phosphate using initial slopes of the relationship between yield and the level of P applied. Under practical agricultural conditions much greater levels of application are needed to give acceptable yields. As values of RE and RV of rock phosphates decrease with increasing level of application, we have overestimated rather than underestimated the value of rock phosphate. Thus the adverse consequences of using rock phosphate in preference to WSP will be even greater than is indicated in this review.

We conclude that, on the bases of existing evidence, there are likely to be only a limited area in Australia where rock phosphates will be effective and economic substitutes for SP. Indeed for most of the experiments described in this review, the cost of rock phosphate to farmers would need to be less than 20% that of SP if both RE and RV are considered. In Australia the most effective reactive rock phosphates, such as North Carolina rock phosphate, are applied to soils at prices comparable to that of SP so that there can be no economic advantage in substituting a significantly less effective rock phosphate for SP.

### REFERENCES

- AOAC. 1975. Official Methods of Analysis. 12th Ed. Assoc. Off. Agric. Chem: Washington, D.C.

- ALSTON, A.M. and K.W. CHIN. 1974a. Rock phosphates and superphosphate as sources of phosphorus for subterranean clover on an acid sandy soil. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 14:358-361.
- ALSTON, A.M. and K.W. CHIN. 1974b. Response of subterranean clover to rock phosphates as affected by particle size and depth of mixing in the soil. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 14: 649-655.
- ARDNT, W. and G.A. McINTYRE. 1963. The initial and residual effects of superphosphate and rock phosphate for sorghum on a lateritic red earth. *Aust. J. Agric. Res* 14: 785-795.
- BARROW, N.J. 1985. Comparing the effectiveness of fertilizers. *Fert. Res.* 8: 85-90.
- BARROW, N.J. 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. pp. 339-59. In: P.E. Khasawneh, E.C. Sample and E.J. Kamprath (eds). (American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin, USA).
- BARROW, N.J. and E.D. CARTER. 1978. A modified model for evaluating residual phosphate in soil. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 1011-1021.
- BARROW, N.J. and N.A. CAMPBELL. 1972. Methods of measuring residual value of fertilizers. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 12: 502-510.
- BECKWITH, R.S. and P. TOLSON. 1987. Seasonal patterns of phosphate uptake in relation to comparisons between fertilizer. *Fert. Res.* 12: 241-254.
- BENBI, D.K., R.J. GILKES and M.D.A. BOLLAND. 1988. An assessment of soil test for phosphate for the prediction of cereal yields on a sandy soil in Western Australia. *Fert. Res.* 16: 137-155.
- BHATTI, A.S. and J.F. LONERAGAN. 1970a. Phosphorus concentrations in wheat leaves in relation to phosphorus toxicity. *Agron. J.* 62: 288-290.
- BHATTI, A.S. and J.F. LONERAGAN. 1970b. The effect of early superphosphate toxicity on the subsequent growth of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 21: 881-892.
- BOLLAND, M.D.A. 1985a. Residual values for wheat of phosphorus from Calciphos, Duchess rock phosphate and triple superphosphate on a lateritic soil in south-western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 25: 198-208.
- BOLLAND, M.D.A. 1985b. Responses of serradella and subterranean clover to phosphorus from superphosphate and Duchess rock phosphate. *Aust. J. Exp. Agric.* 25: 902-912.
- BOLLAND, M.D.A. 1986. Residual value of phosphorus from superphosphate for wheat grown on soils of contrasting texture near Esperance, Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 26: 59-64.
- BOLLAND, M.D.A. 1987. Effectiveness of topdressed and incorporated superphosphates and Duchess rock phosphate for subterranean clover on sandy soils near Esperance, Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 27: 87-92.
- BOLLAND, M.D.A. and D.G. ALLEN. 1987. Comparison of three soil test for phosphate on lateritic soil fertilized with superphosphate, crandallite rock phosphates and apatite rock phosphates. *Aust. J. Soil. Res.* 25: 555-562.
- BOLLAND, M.D.A., M.J. BAKER and R.J. LUNT. 1987. Effectiveness of superphosphate and crandallite-millisite rock phosphates on a deep, very sandy soil as assessed by plant growth and soil-extractable phosphate. *Aust. J. Exp. Agric.* 27: 647-656.
- BOLLAND, M.D.A. and N.J. BARROW. 1988. Effect of level of application on the relative effectiveness of rock phosphate. *Fert. Res.* 15: 181-192.
- BOLLAND, M.D.A. and J.W. BOWDEN. 1982. Long-term availability of phosphorus from calcined rock phosphate compared with superphosphate. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 1061-1071.
- BALLAND, M.D.A. and J.W. BOWDEN. 1984. The initial an residual value for subterranean clover of phosphorus from crandallite rock phosphates, apatite rock phosphates and superphosphate. *Fert. Res.* 5: 295-307.
- BOLLAND, M.D.A. and J.W. BOWDEN. 1986. Summary of long-term rock phosphate experiments in south-western Australia. *J. Aust. Instit. Agric. Sci.* 52: 227-236.
- BOLLAND, M.D.A. and J.W. BOWDEN. 1987. Residual value of rock phosphate fertilizers. *West Aust. Dep. Agric. (Techn. Bull. No. 75)*.
- BOLLAND, M.D.A. and R.J. GILKES. 1987. How effective are Calciphos and Phospal? *Fert. Res.* 12: 229-239.
- BOLLAND, M.D.A. and R.J. GILKES. 1989. Reactive rock phosphate fertilizers and soil testing for phosphorus: the effect of particle size of the rock phosphate. *Fert. Res.* 21: 75-93.
- BOLLAND, M.D.A. and R.J. GILKES. 1991. Evaluation of two rock phosphates and a calcined rock phosphate as maintenance fertilizers for crop-pasture rotations in Western Australia. *Fert. Res.* 23 (in press).
- BOLLAND, M.D.A., J.W. BOWDEN, M.F. D. ANTUONO, and R.J. GILKES. 1984. The current and residual value of superphosphate, Christmas Island C-grade ore, and Calciphos as fertilizers for a subterranean clover pasture. *Fert. Res.* 5-335-354.
- BOLLAND, M.D.A., R.J. GILKES, and D.G. ALLEN. 1988. The residual value of superphosphate and rock phosphates for lateritic soils and its evaluation using three soil phosphate tests. *Fert. Res.* 15: 263-280.
- BOLLAND, M.D.A., R.J. GILKES, D.G. ALLEN, and M.F. D'ANTUONO. 1987. Residual value of superphosphate and Queensland rock phosphate for serradella and clover on very sandy soils as assessed by plant growth and bicarbonate-soluble phosphorus. *Aust. J. Exp. Agric.* 27: 275-282.
- BOLLAND, M.D.A., R.J. GILKES, and M.F. D'ANTUONO. 1988. The effectiveness of rock phosphates fertilizers in Australian Agriculture: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 655-668.
- BOLLAND, M.D.A., A.J. WEATHERLEY, R.J. GILKES, and J.W. BOWDEN. 1986. Granular reactive apatite rock phosphate is not an effective phosphorus fertilizer in the short term on lateritic soils in south-western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 26: 217-225.
- BOLLAND, M.D.A., A.J. WEATHERLEY, and R.J. GILKES. 1988. Residual effectiveness of superphosphate is greater than that of rock phosphate fertilizers for lateritic soils in south-western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 83-90.
- BOWDEN, J.W., L. AND D. BENNETT. 1976. The 'Decide' model for predicting superphosphate requirements. *Proc. Phos. in Agric. Simps.* 1974. (Aust. Inst. Agric. Sci. - Vic. Br.)

- CHIEN, S.H. and L.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.
- COLWELL, J.D. 1963. The estimation of the phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 3: 190-197.
- COLWELL, J.D. 1985. Fertilizer programs. 1. Variability in response of successive crops to fresh and previous applications of phosphorus fertilizer, in Australia and Brazil. *Fert. Res.* 8: 21-38.
- CROWTHER, E.M. 1947. Memoranda on colonial fertilizer experiments. (HMSO: London).
- DEELEY, D.M., J.S. YEATES, and R.J. GILKES. 1987. Chemical testing procedures for poorly soluble P fertilizers used in acid leaching sands. *Fert. Res.* 14: 101-111.
- ENGELSTAD, O.P., A. JUGSUJINDA, and S.K. DE DATTA. 1974. Response by flooded rice to phosphate rocks varying in citrate solubility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 524-529.
- FISHER, M.J. and N.A. CAMPBELL. 1972. The initial and residual responses to phosphorus fertilizers of Twnsville style in pure ungrazed swards at Katherine, NT. *Aust. J. Exp. Agric. An in Husb.* 12: 488-494.
- GHOSH, A.K. and R.J. GILKES. 1987. The initial and residual agronomic effectiveness of some Indian, USA and Australian rock phosphates. *Fert. Res.* 12: 201-218.
- GILKES, R.J. and M.D.A. BOLLAND. 1992. The Australian experience with rock phosphates: limitations and explanations. *Proc. of Workshop on Phosphate Sources for Acid Soils in the Humid Tropics of Asia in Kuala Lumpur, Malaysia*, pp 177 - 199 (Mal. Soc. Soil. Sci. Kuala Lumpur, Malaysia).
- GILKES, R.J. and B. PALMER. 1979. Calcined Christmas Island C-grade rock phosphate fertilizers: mineralogical properties, reversion and assessment by chemical extraction. *Aust. J. Soil Res.* 17: 467-481.
- GILKES, R.J. and B. PALMER. 1982. Influence of liming on effectiveness of calcined Christmas Island rock phosphate fertilizers. In: "Phosphorus and Potassium in the Tropics". (Eds. E. Pushparajah and A.H. Sharifuddin). pp. 509-518. (Mal. Soc. Soil. Sci. Kuala Lumpur, Malaysia).
- GREGG, P.E.H., J.K. SYERS, and A.D. MACKAY. 1981. Agronomic effectiveness of reactive phosphate rocks in hill country pastures. *Proc. Tech Workshop Pot Phos. Rock in NZ. Occasional rep No. 3*, pp 4-10. (Massey Univ.: Palmerston North, NZ).
- HAMMOND, L.L. 1978. Agronomic measurements of phosphate rock effectiveness. *Seminar on phosphate rock for Direct Application, Haifa, Israel*. pp. 147-73 (IFDC-S1: Muscle Shoals, Alabama, USA).
- HAMMOND, L.L., S.H. CHIEN, and G.W. EASTERWOOD. 1986. Agronomic effectiveness of Bayover phosphate rock in soil with induced phosphorus retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1601-1606.
- HARRISON, R. 1988. Alternative phosphatic fertilizers. *Review* 44: 39-42.
- HOARE, J. 1980. Phosphate raw materials and fertilizers. II. A case history of marginal raw materials. pp. 121-128. In: F.E. Khasawneh, E.D. Sample and E.J. Kamprath (eds.). "The Role of Phosphorus in Agriculture". (American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin).
- HUGHES, J.C. and R.J. GILKES. 1984. The effect of chemical extractant on the estimation of rock phosphate fertilizer dissolution. *Aust. J. Soil. Res.* 22: 475-481.
- HUGHES, J.C. and R.J. GILKES. 1986a. The effect of rock phosphate properties on the extent of fertilizer dissolution in soils. *Aust. J. Soil. Res.* 24: 209-217.
- HUGHES, J.C. and R.J. GILKES. 1986b. The effect of soil properties and level of fertilizer application on the dissolution of Sechura Rock Phosphate in some soils from Brazil, Colombia, Australia and Nigeria. *Aust. J. Soil. Res.* 24: 219-227.
- KANABO, I.A.K. 1986. Ph. D. Thesis. University of Western Australia, Perth.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1987a. The role of soil pH in the dissolution of phosphate rock fertilizers. *Fert. Res.* 12: 165-174.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1987b. The influence of the addition of goethite to the soil on the dissolution of North Carolina phosphate rock. *Aust. J. Soil. Res.* 25: 313-322.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1987c. A comparison between plant response and chemical measurement of the dissolution of reactive phosphate rock in soils of different pH and phosphorus retention. *Aust. J. Soil Res.* 25: 451-460.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1988a. The effects of moisture regime and incubation period on the dissolution of North Carolina phosphate rock in soil. *Aust. J. Soil. Res.* 26: 153-163.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1988b. A comparison of mixed and band applications on the dissolution of North Carolina phosphate rock and on bicarbonate-soluble soil phosphorus. *Fert. Res.* 15: 3-12.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1988c. The effect of particle size of North Carolina phosphate rock on its dissolution in soil and on levels of bicarbonate-soluble phosphorus. *Fert. Res.* 15: 137-145.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1988d. The effect of soil texture on the dissolution of North Carolina phosphate rock. *J. Soil. Sci.* 39: 191-198.
- KANABO, I.A.K. and R.J. GILKES. 1988e. The effect of the level of phosphate rock application on its dissolution in soil and on bicarbonate-soluble phosphorus. *Fert. Res.* 16: 67-85.
- KHASAWNEH, F.E. and E.C. DOLL. 1978. The use of phosphate rock for direct applications to soils. *Adv. Agron.* 30: 159-206.
- KIRK, C.J.D. and P.H. NYE. 1986. A simple model for predicting the rates of dissolution of sparingly soluble calcium phosphate in soil. 1. The basic model. *J. Soil Sci.* 37: 529-540.
- LARSEN, S. and M.E. PROBERT. 1988. A theoretical treatment of the maintenance of soil phosphorus status. *Phosphorus in Agriculture Bulletin, Document No. 51.* (International Superphosphate Manufacturers Association Limited: Paris).
- LEHR, J.R. and G.H. McCLELLAN. 1972. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application. *Bulletin Y-43.* (Tennessee Valley Authority: Muscle Shoals, Alabama).
- LEON, L.A., W.E. FENSTER and L.L. HAMMOND. 1986. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru and Venezuela. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 798-802.

- LIPSETT, J., and C.H. WILLIAMS. 1970. Evaluation of Christmas Island C-grade phosphate as a fertilizer on some soils in southern New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 10: 783-789.
- MACKAY, A.D., J.K. SYERS, and P.E.H. GREGG. 1984. A new glasshouse comparison of six phosphate fertilizers. *NZ. J. Exp. Agric.* 12: 131-140.
- McLANCHLAN, K.D. 1960. Rock phosphate and superphosphate compared as pasture fertilizers on acid soils. *Aust. J. Agric. Res.* 11: 513-523.
- MASON, M.G. and W.J. COX. 1969. Calcined rock phosphate as a fertilizer for pasture and cereal production in Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 9: 99-104.
- OONKASEM, B. 1987. The influence of flooding on the effectiveness of phosphorus fertilizers. MSc. Thesis. Univ. West. Aust. Perth.
- OONKASEM, B. and R.J. GILKES. 1986. The effect of flooding on the relative effectiveness of rock phosphate for rice and maize. *Proc. NZSSS/ASSS. 1986. joint meeting, Rotorua, New Zealand (CSIRO, Melbourne).*
- OLSEN, S.R., C.V. COLE, F.S. WATANABE, and L.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dep. Agric. (Circ. No. 939).*
- OZANNE, P.G. and T.C. SHAW. 1967. Phosphate adsorption by soils as a measure of the phosphate requirement of pasture growth. *Aust. J. Agric. Res.* 18: 601-612.
- VAN DER PAAUW, F. 1965. Factors controlling the efficiency of rock phosphates for potatoes and rye on humic sandy soils. *Plant and Soil* 22: 81-98.
- PALMER, B. 1980. A chemical mineralogical and biological evaluation of calcined Christmas Island C-grade rock phosphate. Ph. D. Thesis. Univ. of West Aust.
- PALMER, B., M.D.A. BOLLAND, and R.J. GILKES. 1979. A re-evaluation of the effectiveness of calcined Christmas Island C-grade rock phosphate. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 19: 605-610.
- PALMER, B. and R.J. GILKES. 1982a. Reversion of calcined calcium aluminium phosphate fertilizers due to rehydroxilation of crandallite. *Aust. J. Soil. Res.* 20: 243-250.
- PALMER, B. and R.J. GILKES. 1982b. Agronomic evaluation of calcined Christmas Island iron/aluminium phosphate fertilizers. In: "Phosphate rock and superphosphate during the early stages of plant growth. *Fert. Res.* 4: 31-43.
- PALMER, B. and R.J. GILKES. 1983b. The influence of application rate on the relative effectiveness of calcined Christmas Island C-grade rock phosphate and superphosphate when applied as mixtures. *Fert. Res.* 4: 45-50.
- PHILLIPS, B. and M.J.T. NORMAN. 1983b. The response of peanuts to phosphate fertilizers at Katherine, NT. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 54: 470-74.
- PROBERT, M.E. 1985. A conceptual model for initial and residual responses to phosphorus fertilizers. *Fert. Res.* 6: 131-138.
- QUIN, B.F. 1981. Performance of reactive phosphate rock on irrigated and non-irrigated pasture. *Proc. Techn. Workshop Pot Phos. Rock in NZ. Occasional Report No. 3.* pp. 13-20. (Massey Univ: Palmerston North, NZ).
- ROSSITER, R.C. and P.G. OZANNE. 1955. The short-term effects of rock phosphate and superphosphate on a subterranean clover pasture. *Aust. J. Agric. Res.* 6: 553-564.
- ROBSON, A.D. and R.J. GILKES. 1980. Fertilizer responses (N, P, K, S, micronutrients) on lateritic soils in south-western Australia - A Review. *Int. Seminar on Lateritization Processes.* pp.381-390 Oxford and IBH Publishing Co.
- SEAL, H.L. 1964. Canonical analysis. In: "Multivariate Statistical Analysis for Biologist" Ch. 7. p. 137. (Methuen Co. Ltd. London).
- SMYTH, T.J. and P.A. SANCHEZ. 1982. Phosphate rock dissolution and availability in Cerado soils as affected by sorption capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 339-345.
- SWABY, R.J. 1975. Biosuper - biological superphosphate. In: *Sulfur in Australasian Agriculture.* pp. 231-220. (Sydney University Press: Sydney, Aust.).
- SYERS, J.K. and A.D. MACKAY. 1986. Reactions of Sechura phosphate rock and single superphosphate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 480-485.
- TEITZEL, J.K. and R.C. BRUCE. 1969. Relative effectiveness of two sources of phosphorus in establishment of tropical pasture species. *Queensland J. Agric. and An. Sci.* 26: 235-241.
- TRUMBLE, H.C. and C.M. DONALD. 1938. The relation of phosphate to the development of seeded pasture on a podsolized sand. *CSIR. Bulletin No. 116 (CSIR: Melbourne).*
- TEAKLE, L.J.H. 1945. Experiments with phosphate fertilizers, 1943 and 1944. *J. Agric. West Aust.* 22. (2nd. series) 100-127.
- WEATHERLEY, A.J., M.D.A. BOLLAND, and R.J. GILKES. 1988. A comparison of values for initial and residual effectiveness of rock phosphates measured in pot and field experiments. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 753-763.
- WILLIAMS, C.H. 1969. Moisture uptake by surface-applied superphosphate and movement of phosphates and sulfates into the soil. *Aust. J. Soil. Res.* 7: 307-316.
- WILLIAMS, C.H. 1971. Reaction of surface-applied superphosphate with soil. II. Movement of the phosphate and sulfur into the soil. *Aust. J. Soil Res.* 9: 95-106.
- WRIGHT, D.N. 1975. Calcined Christmas Island C-grade rock phosphate as a fertilizer. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15: 419-423.
- YEATES, J.S. and D.G. ALLEN. 1987. Low effectiveness of three rock phosphates as phosphorus fertilizers and liming materials on an acid clay-loam. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 1033-1046.
- YEATES, J.S., D.M. DEELEY, M.F. CLARKE, and D. ALLEN. 1984. Modifying fertilizer practices. *J. Agric. West Aust.* 25. (4th series): 87-91.
- YEATES, J.S., D.M. DEELEY, G.T.B. COCKERTON, and M.F. CLARKE. 1986. Rock phosphates fertilizers for sandy soils? *J. Agric. West Aust.* 27. (4th series): 120-123.
- YOST, R.S., G.C. NADERMAN, E.J. KAMPRATH, and E. LOBATO. 1982. Availability of rock phosphate as measured by and acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. *Agron. J.* 74: 462-468.

**RESPUESTAS AGRONOMICAS Y ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS EN EL  
USO DE ROCAS FOSFORICAS NATURALES Y MODIFICADAS EN  
CULTIVOS Y SUELOS DE VENEZUELA\***

Agronomic Responses and Technological Alternatives in  
the Use of Natural and Modified Phosphate Rocks  
in Crops and Soils of Venezuela

Eduardo Casanova Olivo

Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía,  
Universidad Central de Venezuela, Maracay, Apartado Postal 4579  
Aragua, Venezuela, y PALMAVEN, S.A.

*Palabras clave:* Rocas fosfóricas (Naturales, Aciduladas, Compactadas, Agrícolas pecuarias, Industriales).

*Index words:* Phosphate rocks (Ground, Partially acidulated, Compacted, Agriculture, Animal production, Industry).

**RESUMEN**

En 1990 se inició la comercialización de la roca micronizada en Venezuela a través de un convenio entre PALMAVEN y FOSFASUROESTE, base en los resultados con experimentales obtenidos en el campo en diferentes suelos y cultivos. En ese año se vendieron 6 000 t y en 1991 34.000 t, destinadas principalmente a la fertilización fosfatada de cultivos permanentes. Por otro lado, dentro de un convenio entre PALMAVEN-PEQUIVEN - FOSFASUROESTE - TECHNIFERT (Francia), se han evaluado rocas parcialmente aciduladas en maíz, sorgo, soya, caña de azúcar, palma africana, café, arroz y pastos; y rocas compactadas, en un convenio entre la UCV (Agronomía) y la TEXASGULF, con las que se han obtenido rendimientos similares a los que se obtienen

con el superfosfato triple, y mucho mejores a los logrados con la aplicación de la roca finamente molida. Además, se ha evaluado la biodisponibilidad de estos productos para la alimentación animal, y su uso industrial como materia prima básica para la producción de medicinas, detergentes, insecticidas, etc.

Esta amplia gama de productos, conjuntamente con los fertilizantes fosfatados de alta solubilidad, ha requerido que se realice en Venezuela una proyección de sus necesidades a mediano y largo plazo, en función de la agricultura, la actividad pecuaria y la industrial deseables, dentro de un ambiente sostenible.

**SUMMARY**

Phosphate rock has been commercialized in Venezuela since 1990 based on the experimental results in different crops and soils. In that year 6 000 t were sold and 34 000 t in 1991, mainly for permanent crops. At the same time many experiments have been conducted with partially acidulated and compacted phosphate rocks in corn, sorghum, soybean, sugar cane, oil palm, coffee, rice, and pastures, with similar yields to the ones obtained with triple superphosphate and better yields compared to the ground phosphate rock. There

Recibido 6-94.

have been evaluations of bioavailability in poultry and as raw material for industrial production of medicines, detergents, insecticides, etc. All these products together with the highly soluble P sources have determined the necessity of calculating their demands at medium and long term for Venezuela as a function of an agriculture, animal production and industrial activities in agreement with the soils and crops grown in the country and within a sustainable environment.

### INTRODUCCION

Entre los nutrimentos deficitarios en los suelos ácidos venezolanos se encuentra el fósforo (P). Los insumos para la fabricación de fertilizantes fosfatados para satisfacer las necesidades de los cultivos han sido históricamente importados, a pesar de las grandes reservas de rocas fosfóricas conocidas en el país desde hace más de 20 años. Es hasta en los últimos cuatro años que en Venezuela comienza la explotación de sus recursos fosfóricos para uso agrícola, pecuario e industrial, con el fin de ir sustituyendo progresivamente las importaciones, lo cual representa ahorro de divisas y un aumento potencial en la producción de alimentos debido al uso de fertilizantes de fácil disponibilidad. En forma paralela a la producción de roca fosfórica, se han realizado estudios para evaluar su efectividad en comparación con otras fuentes de mayor solubilidad, y para valorar técnica y económicamente productos generados en el proceso industrial de la roca fosfórica, como parcialmente acidulados, compactados, y otras formas como mezclado con azufre y material orgánico. Este trabajo resume los resultados de evaluaciones realizadas en 1991 y 1992, y hace una proyección sobre la demanda de las rocas fosfóricas naturales y modificadas en función de los suelos y cultivos (anuales, semipermanentes y permanentes) en Venezuela, así como consideraciones de consumo pecuario, uso industrial y algunas repercusiones dentro de un ambiente sostenible.

### REVISION DE LITERATURA

La información publicada en Venezuela sobre roca fosfórica después de la II Reunión de la Red Latinoamericana de Roca Fosfórica (Casanova, 1991), está relacionada con

resultados experimentales del uso de roca fosfórica en pastos con aplicación directa (Casanova *et al.*, 1991) en suelos ácidos del estado de Bolívar, usando *Brachiaria decumbens*, en dos años y medio; y con la aplicación de rocas fosfóricas en pasturas introducidas y nativas (Casanova *et al.*, 1991), tanto en establecimiento como en establecidas en suelos ácidos de los estados de Bolívar, Guárico y Apure. Resultados de rendimientos obtenidos con rocas compactadas en suelos ácidos de los estados de Portuguesa, Guárico, Miranda y Anzoátegui, con sorgo, soya y café han sido publicados por Casanova y Solórzano (1992). Finalmente, Casanova (1991) hace una proyección del uso potencial de las rocas fosfóricas naturales y modificadas para los cultivos en suelos de Venezuela.

Los resultados de las publicaciones arriba mencionadas y otros aún no publicados se discuten y analizan en este trabajo. Se trata de presentar el panorama completo en el sistema suelo-planta-animal dentro de un ambiente sostenible.

### MATERIALES Y METODOS

Las evaluaciones agronómicas se realizaron en una gran gama de suelos ácidos del país y en los cultivos de maíz, sorgo, soya, arroz, pastos, café, caña de azúcar, palma africana, cítricos, pinos y teca. Las fuentes de fósforo usadas fueron: superfosfato triple, rocas fosfóricas para aplicación directa, rocas fosfóricas parcialmente aciduladas (15, 40 y 60%), rocas fosfóricas compactadas con superfosfato triple en proporciones 60/40 y 70/30, rocas de Carolina del Norte para aplicación directa y compactadas, y un testigo absoluto sin aplicación de fósforo (Casanova, 1991). Las dosis aplicadas fueron del orden de 0 a 200 kg  $P_2O_5$ /ha anualmente, en diseños de bloques completamente al azar y con la aplicación básica de nutrimentos suplementarios (Casanova *et al.*, 1991) para asegurar una adecuada disponibilidad de los mismos. La información generada en estos experimentos ha sido de caracterización de suelos y de plantas en diferentes estados de crecimiento y rendimientos, medidas de biodisponibilidad en aves (Godoy de León y Chicco, 1991), proyección del consumo de rocas fosfóricas en sus diferentes formas al año 2000 en Venezuela, con base en parámetros de consumos actuales (Casanova, 1991). El impacto ambiental se discute con base en la

Cuadro 1. Características más importantes de los suelos donde se realizaron los experimentos.

Características	Suelos								
	Guanare	Palo seco	El Laurel	El Tigre	Upata	Cueva del Tigre	Bartolero	Las Patillas	Barinas
Textura <sup>1</sup>	A	Fa	Aa	a	aF	a	Fa	Aa	F
pH	5.5	4.7	5.3	5.5	5.2	5.9	4.6	5.2	5.6
Materia orgánica (%)	2.6	1.8	5.7	0.9	0.9	-	2.7	1.8	2.8
P aprovechable (mg kg <sup>-1</sup> )	19	13	21	5	5	2	2	1.2	2
K aprovechable (mg kg <sup>-1</sup> )	1058	290	3091	107	-	-	-	-	56
Ca aprovechable (mg kg <sup>-1</sup> )	60	82	43	36	407	105	35	129	240

-: Valores no medidos

1: A = arcilla, Fa = franco arenoso; Aa = arcilla arenosa; aF = arena franca; a = arena; F = franca

caracterización de los diferentes productos y en algunos parámetros internacionales (Sánchez *et al.*, 1992).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los suelos donde se han realizado las evaluaciones agronómicas son ácidos, poco fértiles, representativos de cada una de las regiones donde se efectuaron los experimentos, y adecuados para la reactividad de las rocas fosfóricas. El Cuadro 1 resume las características más importantes de esos suelos.

### Rocas Fosfóricas de Uso Directo.

Las experiencias más recientes con el uso de rocas fosfóricas micronizadas de aplicación directa han sido con pastos tanto de establecimiento como ya establecidos. Estos experimentos se realizaron en los suelos definidos en el Cuadro 1 como Upata, Cueva del Tigre, Bartolero y Las Patillas.

En Upata se evaluó la respuesta del pasto *Brachiaria decumbens* en establecimiento, a la aplicación de rocas fosfóricas de Riecito y Lizardo (estado de Falcón) y Monte Fresco (estado de Táchira) en comparación con el superfosfato triple durante 11 muestreos consecutivos y por un período de 31 meses. Estos resultados fueron parcialmente presentados por Casanova *et al.* (1992) y los aspectos más sobresalientes se pueden resumir de la siguiente manera:

1. La mejor respuesta en rendimiento del pasto en materia seca se obtuvo con la dosis de 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> de de la roca de Monte Fresco, con un efecto residual de casi tres años.
2. Los niveles de fósforo aprovechable en el suelo y absorbido por las plantas aumentaron de 5 a 25 mg kg<sup>-1</sup> y de 0.1 a más de 0.2%, respectivamente.
3. Hubo un ligero aumento del pH del suelo, de 5.2 a 5.6, en el tiempo que se realizó el experimento.

En los suelos de Cueva del Tigre, Bartolero y Las Patillas se condujeron experimentos con pastos en establecimiento y ya establecidos en el área de influencia del síndrome parapléjico de los bovinos en Venezuela, cuyos resultados de producción de materia seca se muestran en el Cuadro 2. Las conclusiones más importantes se pueden resumir en los siguientes puntos: 1) sin la aplicación de nutrimentos estas sabanas tan pobres no producen suficiente biomasa para la alimentación animal (testigo absoluto); 2) la sola incorporación de nitrógeno y potasio (testigo sin fósforo) mejora significativamente la producción de materia seca; 3) una aplicación de nitrógeno y potasio conjuntamente con 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como roca fosfórica de Monte Fresco, produce significativamente los mejores rendimientos en estos pastos al compararla con la fuente de alta solubilidad; 4) en pastos ya establecidos se comprobó que la aplicación de rocas fosfóricas al voleo, una vez que se ha

Cuadro 2. Rendimientos de materia seca en pasturas en establecimiento y ya establecidas con la aplicación de rocas fosfóricas venezolanas.

Tratamiento P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Cueva del Tigre		Bartolero		Las
	A1)	B2)	A3)	B4)	Patillas B5)
	kg ha <sup>-1</sup>				
50 SFT	1510	2089	4598	4414	5044
100 SFT	1587	2176	4856	3490	4345
150 SFT	1626	2287	5523	3236	7774
200 SFT	1667	2232	4591	3956	5792
50 MF	1804	1890	3070	2925	3815
100 MF	1919	2037	3179	4048	6557
150 MF	1544	3419	4220	3424	5373
200 MF	2182	2630	4655	4034	5025
50 NA	1520	2103	3059	3333	5774
100 NA	1952	2476	2575	4918	5270
150 NA	1764	2133	2768	3523	5418
200 NA	1631	2306	2510	3906	4170
Testigo Sin P(N-K)	1407	1616	2630	3357	4935
Testigo absoluto (Sin N-P-K)	877	652	514	1225	2080

1) y 2): *Brachiaria decumbens*, promedio de tres cortes.3) y 4): *Digitaria swazilandensis*, promedio de un corte.5): *Brachiaria decumbens*, promedio de un corte.

SFT: Superfosfato triple.

MF: Roca fosfórica de Monte Fresco.

NA: Roca fosfórica de Navay.

realizado el corte (simulación del pastoreo), produjo rendimientos mayores al compararlo con ambos testigos.

#### Rocas Fosfóricas Aciduladas y Compactadas.

En un convenio suscrito entre PALMAVEN-PEQUIVEN - FOSFASUROESTE-TECHNIFERT (Francia) se han venido evaluando desde 1990 rocas fosfóricas aciduladas en diferentes cultivos y suelos de Venezuela. Los resultados obtenidos en 1991 se resumen a continuación:

**Maíz:** En el Cuadro 3 se presentan los rendimientos de maíz y la eficiencia agronómica relativa (EAR) estimada por la fórmula:

$$EAR (\%) = \frac{\text{rend. roca fosfór.} - \text{rend. testigo}}{\text{rend. con superf. triple} - \text{rend. testigo}} \times 100$$

En este experimento realizado en un suelo de Barinas, moderadamente ácido y pobre en

fósforo (Cuadro 1), fue evidente la necesidad de fertilizar a éste para hacerlo productivo, ya que la parcela testigo dio rendimientos muy bajos. Igualmente, se refleja la poca EAR de las rocas micronizadas Monte Fresco y Riecito en cultivos de ciclo corto y, finalmente, la competitividad de los materiales acidulados con el superfosfato triple, que dieron rendimientos cercanos (Monte Fresco) y mayores y significativamente diferentes en el caso de Riecito.

Cuadro 3. Rendimiento de maíz al 12% de humedad producidos en la finca La Basurita, Barinas, como respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos con rocas fosfóricas micronizadas y aciduladas.

Tratamientos <sup>1)</sup>	Rendimientos <sup>2)</sup> kg ha <sup>-1</sup>	EAR %
Testigo (sólo NK)	798 f	-
Superfosfato triple (SFT)	2686 b	100
Roca fosfórica Monte Fresco micronizada (MF-MOL)	1718 e	48
Roca fosfórica Monte Fresco acidulada al 40% (MF-S40)	2320 c	81
Roca fosfórica Riecito micronizada (R-MOL)	2063 cd	67
Roca fosfórica Riecito acidulada a 40% (R-S40)	3317 a	133

<sup>2)</sup>Valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

1) Aplicación básica de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N y 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de cada una de las fuentes señaladas. Promedio de cuatro repeticiones.

2) Datos generados por el Ing. Nelson Díaz, de Asistencia Técnica Fertilizantes de PALMAVEN.

EAR = Eficiencia agronómica relativa.

**Sorgo y Soya:** Los mismos tratamientos descritos para el maíz en Barinas (Cuadro 3), fueron usados en San Tomé, estado de Anzoátegui, con sorgo y soya. El suelo El Tigre (Cuadro 1) es moderadamente ácido y muy pobre en nutrientes. En la Figura 1 se muestran los rendimientos de ambos cultivos en 1991, y las diferencias entre tratamientos, para las condiciones climáticas de ese año. A pesar de que los rendimientos no fueron tan altos, debido a la aplicación de sólo 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, en suelos donde las dosis deberían ser de 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, se observa una buena respuesta de la roca de Riecito acidulada y micronizada en el sorgo, y mejores respuestas



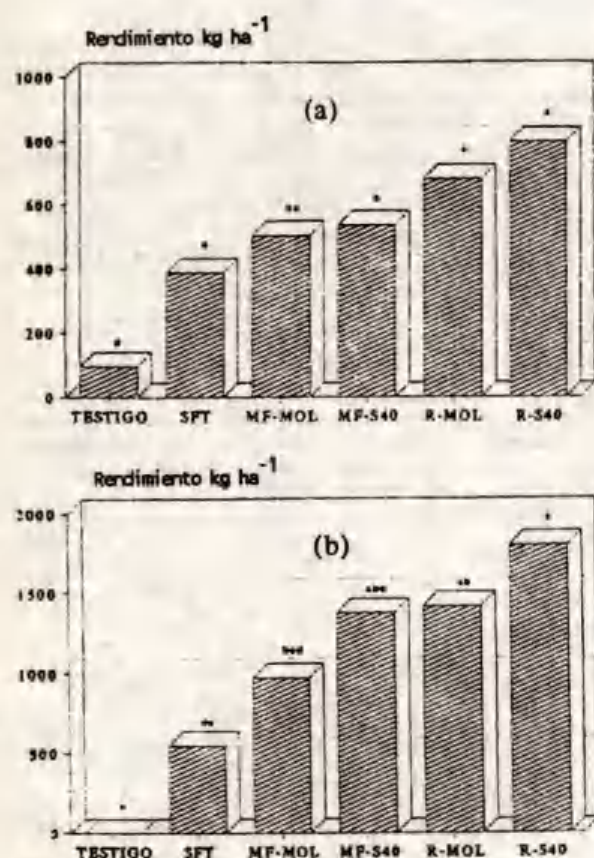


Figura 1. Respuesta de la soya(a) y el sorgo(b) a la aplicación de roca fosfórica micronizada y acidulada en San Tomé, Edo. de Anzoátegui. Columnas seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ). (Datos generados por el Ing. Jose Hernández de Palmavan).

T: Testigo; SFT: Superfosfato triple; RFMF: Roca fosfórica de Monte Fresco; RFR: Roca fosfórica de Riecito; M: Micronizada; S15, S40: Acidulada al 15 y 40% con ácido sulfúrico; C15, C40: Acidulada al 15 y 40% con ácido sulfúrico y fosfato monoamónico.

en la soya. La roca fosfórica de Monte Fresco acidulada dio resultados inferiores a lo esperado en ambos cultivos.

**Café:** En Bramón, estado de Táchira, se condujo un experimento para estudiar el efecto de las rocas fosfóricas micronizadas (M) y aciduladas al 15 y 40% de Monte Fresco (RFMF) y Riecito (RFR). Los resultados (altura de planta, peso seco de la parte aérea y fósforo total en el tejido) se presentan en la Figura 2. Las plantas crecieron en vivero por un período aproximado de 180 días hasta alcanzar la edad de transplante. En general, se logró poco crecimiento de las plantas sin aplicación de

fertilizante fosforado; la incorporación de aproximadamente 6 g (varió de acuerdo al nivel de  $P_2O_5$  de cada fuente) de los fertilizantes en 1 kg de suelo generó la mejor respuesta con el superfosfato triple (SFT); similar altura de planta y peso de la parte aérea se logró con la roca de Riecito acidulada a 40%. La mayor absorción de P por las plantas ocurrió con el SFT, seguida estadísticamente por la roca de Riecito acidulada a 40%.

Las rocas fosfóricas compactadas se han estado evaluando en Venezuela a través de un convenio entre la UCV y la TEXASGULF. La compactación se basa en la aplicación de presión a un material seco (en nuestro caso roca fosfórica y superfosfato triple) que tiene la ventaja de la flexibilidad para, rápida y fácilmente, cambiar la proporción de mezclado y obtener un amplio intervalo de formulación de productos. En 1991 se condujeron experimentos en los suelos en Palo Seco (sorgo y soya), El Tigre (sorgo y soya) y El Laurel (café) (Cuadro 1). Los resultados del sorgo en Palo Seco se muestran en el Cuadro 4, donde, además de los rendimientos, se presentan valores de P en hojas en el estado de producción de panojas y en el suelo al momento de la cosecha. Los máximos rendimientos se obtuvieron con el superfosfato triple (TSP), los cuales no fueron estadísticamente diferentes a la roca de Carolina del Norte natural (NCRPRN) y compactada 60/40 (NCRPR 60/40) y 70/30 (NCRPR 70/30). Las rocas fosfóricas venezolanas compactadas (MFPR 70/30 y 60/40) también produjeron buenos rendimientos, estadísticamente diferentes al grupo de Carolina del Norte; finalmente, las rocas fosfóricas venezolanas (MFPR y Navay PR) produjeron, estadísticamente, los menores rendimientos.

Los niveles de P aprovechable en el suelo muestran una tendencia a aumentar con las fuentes y las dosis de P aplicadas, el aumento fue más evidente cuando el TSP y NCRPR granulada y compactada fueron aplicados. Los menores incrementos fueron logrados con la roca Navay.

La concentración de P en la tercera hoja de arriba hacia abajo, en el estado de producción de panojas, se mantuvo dentro de los límites de suficiencia (Cuadro 4), con excepción del tratamiento donde se aplicaron las rocas fosfóricas Monte Fresco y Navay a 50 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> y en la parcela testigo. Se obtuvo una

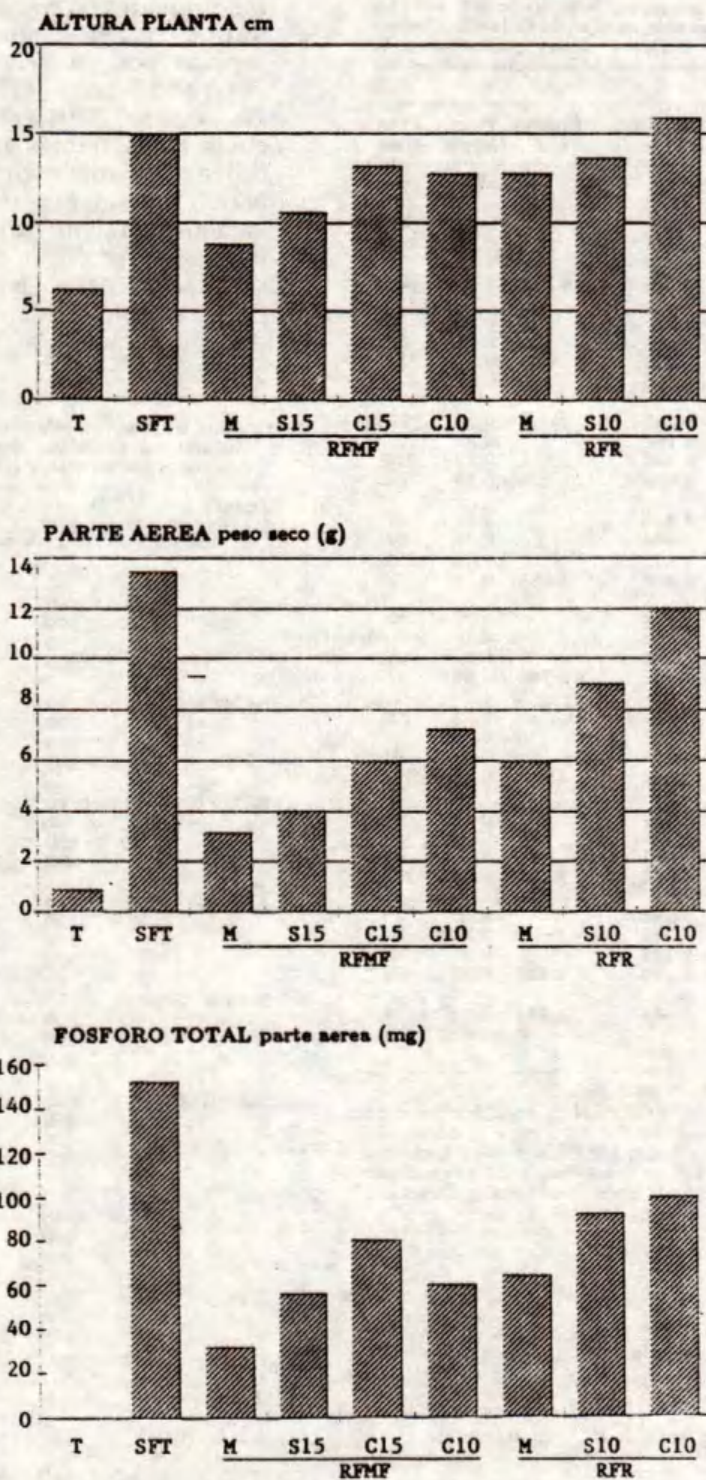


Figura 2. Efecto de rocas fosfóricas naturales y aciduladas, en comparación al superfosfato triple, sobre la altura, peso seco y fósforo absorbido por plantas de café en vivero (Experimento realizado por Pedro Yañez, FONAIAP, Táchira).

Cuadro 4. Rendimiento de sorgo, concentración de P en hojas (floración) y P aprovechable en el suelo (a la cosecha) en Palo Seco, estado de Guárico, como respuesta a la aplicación de rocas compactadas y finamente molidas, en 1991.

Fuente de P	Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rend. prom. tratamiento	Fuente	P en hojas <sup>1</sup>	P en suelo
		kg ha <sup>-1</sup>		%	ppm
TSP	50	4 361		0.24	39
	100	4 834		0.32	112
	150	4 739		0.26	156
	200	4 995	4 732	0.35	98
NCRPR	50	3 667		0.23	50
	100	4 164		0.32	51
	150	4 359		0.36	124
	200	4 246	4 109	0.32	378
NCRPR 60/40	50	3 920		0.36	70
	100	4 157		0.25	227
	150	4 148		0.32	236
	200	4 663	4 222	0.32	164
NCRPR 70/30	50	3 114		0.25	37
	100	4 405		0.29	64
	150	3 831		0.22	229
	200	4 453	3 951	0.24	76
MFPR 70/30	50	3 647		0.26	21
	100	3 452		0.25	39
	150	3 843		0.27	88
	200	4 208	3 788	0.24	57
MFPR 60/40	50	3 473		0.32	30
	100	3 608		0.23	17
	150	3 760		0.27	20
	200	3 899	3 685	0.21	175
MFPRN	50	2 129		0.16	42
	100	2 454		0.24	16
	150	2 551		0.18	76
	200	2 604	2 434	0.24	187
Navay PR	50	2 295		0.15	26
	100	2 345		0.27	43
	150	2 492		0.21	26
	200	2 599	2 433	0.22	78
Testigo	0	1 884	1 884	0.14	14
L.S.D. (0.05)		808			

1) Intervalo de suficiencia: 0.20-0.35%

TSP = superfosfato triple; NCRPRN = roca fosfórica de Carolina del Norte natural; NCRPR = roca fosfórica de Carolina del Norte compactada; MFPRN = roca fosfórica venezolana natural; MFPR = roca fosfórica venezolana compactada; Navay PR = Roca fosfórica venezolana Navay.

correlación altamente significativa entre el P en hojas y los rendimientos ( $r = 0.70$ ), la ecuación de regresión fue  $Y = 854 + 10708X$ ; donde Y es el rendimiento y X el nivel de P en las hojas.

Los resultados con soya en la misma localidad de Palo Seco se muestran en el Cuadro 5. Todas las fuentes aumentaron los

rendimientos en comparación con el tratamiento testigo; el TSP produjo los valores más altos, seguido por un grupo estadístico homogéneo formado por MFPR 70/30, NCRPR 70/30, NCRPR 60/40 y MFPR 60/40, cuyos rendimientos disminuyeron en ese mismo orden. Las rocas fosfóricas de Monte Fresco y Navay finamente molidas, a pesar de que aumentaron significativamente los rendimientos en comparación con el testigo, no fueron suficientes para alcanzar los niveles de las fuentes compactadas y de la roca de Carolina del Norte.

Cuadro 5. Rendimientos medios de soya en Palo Seco, estado de Guárico, como respuesta a la aplicación de rocas compactas y finamente molidas, en 1991.

Fuente de P	Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rendim. prom. tratamiento	Fuente
		kg ha <sup>-1</sup>	
TSP	50	1947	
	100	2405	
	150	2601	
	200	2487	2360
NCRPR	50	1526	
	100	1569	
	150	1820	
	200	1942	1714
NCRPR 60/40	50	1385	
	100	1681	
	150	1535	
	200	2185	1696
NCRPR 70/30	50	1578	
	100	1828	
	150	1930	
	200	2009	1836
MFPR 70/30	50	1544	
	100	1747	
	150	2130	
	200	2277	1924
MFPR 60/40	50	1142	
	100	1558	
	150	1751	
	200	2127	1644
MFPR	50	847	
	100	1090	
	150	1574	
	200	1588	1275
Navay PR	50	765	
	100	807	
	150	1036	
	200	1066	918
Testigo	0	441	441
L.S.D. (0.05)		309	

TSP = superfosfato triple; NCRPRN = roca fosfórica de Carolina del Norte natural; NCRPR = roca fosfórica de Carolina del Norte compactada; MFPRN = roca fosfórica venezolana natural; MFPR = roca fosfórica venezolana compactada; Navay PR = Roca fosfórica venezolana Navay.

Los resultados de los rendimientos obtenidos con experimentos similares conducidos en El Tigre (Cuadro 1) con sorgo y soya se presentan en el Cuadro 6. En el sorgo, los rendimientos fueron inferiores a los obtenidos en Palo Seco (Cuadro 4), probablemente como consecuencia de suelos más arenosos y una distribución irregular de la lluvia en 1991. Los mayores rendimientos se obtuvieron con TSP, NCRPR natural y

Cuadro 6. Rendimiento en grano para sorgo y soya en El tigre, estado de Anzoátegui, como respuesta a la aplicación de rocas compactadas y finamente molidas, en 1991.

Fuente de P	Dosis $P_2O_5$	Rendimiento promedio			
		Sorgo		Soya	
		Tratamiento	Fuente	Tratamiento	Fuente
----- kg ha <sup>-1</sup> -----					
TSP	50	1815		1558	
	100	1967		1917	
	150	1983		1996	
	200	2256	2005	2269	1935
NCRPR	50	1516		1365	
	100	1849		1397	
	150	1880		1690	
	200	2060	1826	1738	1548
NCRPR 60/40	50	1634		1309	
	100	1862		1678	
	150	1981		1806	
	200	2163	1910	1785	1644
NCRPR 70/30	50	1695		1223	
	100	1966		1896	
	150	1951		1728	
	200	2104	1929	1879	1682
MFPR 70/30	50	1292		1051	
	100	1331		1415	
	150	1850		1666	
	200	1791	1566	1679	1453
MFPR 60/40	50	1304		1338	
	100	1710		1584	
	150	1882		1565	
	200	1837	1683	1780	1567
MFPR	50	690		988	
	100	722		1004	
	150	851		1154	
	200	938	800	1949	1049
Navay PR	50	643		959	
	100	704		885	
	150	805		1180	
	200	797	737	1061	1021
Testigo	0	461	461	635	635
L.S.D. (0.05)		324		142	

TSP = superfosfato triple; NCRPRN = roca fosfórica de Carolina del Norte natural; NCRPR = roca fosfórica de Carolina del Norte compactada; MFPRN = roca fosfórica venezolana natural; MFPR = roca fosfórica venezolana compactada; Navay PR = Roca fosfórica venezolana Navay.

compactada, formando un sólo grupo estadístico, seguido de la roca fosfórica de Monte Fresco compactada y, finalmente, las rocas finamente molidas.

En la soya, todas las fuentes y dosis generaron aumentos en los rendimientos en comparación con el testigo; los rendimientos estadísticamente mayores fueron producidos por el TSP y, nuevamente, las respuestas más bajas fueron de las rocas Monte Fresco y Navay finamente molidas.

Estas mismas fuentes fueron aplicadas en café de 10 años de edad, en el suelo El Laurel (Cuadro 1) en 1991. El Cuadro 7 muestra los rendimientos medios obtenidos con las dosis aplicadas. Las tendencias observadas reflejan una mejor respuesta a los materiales compactados de Carolina del Norte y Monte Fresco, así como a las rocas naturales de Carolina del Norte y Navay. Los menores rendimientos se lograron con la roca de Monte Fresco molida y el superfosfato triple, este último caso resultó contrario a lo esperado. En este experimento se evaluó el efecto residual de la aplicación hecha en 1992. Esta experiencia muestra la potencialidad de los materiales evaluados para elevar los rendimientos de los cafetales en Venezuela, los cuales se desarrollan mayormente sobre suelos ácidos con rendimientos medios de aproximadamente 400 kg cereza ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 7. Rendimiento de café cereza en el suelo El Laurel, estado de Miranda, como respuesta a la aplicación de rocas fosfóricas compactadas y finamente molidas.

Fuente de fósforo	Rendimiento
	kg ha <sup>-1</sup>
Testigo (sin P)	6 167
Superfosfato triple	6 353
Roca fosfórica Carolina del Norte (CN)	8 925
Roca fosfórica CN compactada 60/40	10 081
Roca fosfórica CN compactada 70/30	9 272
Roca fosfórica venezolana (RFV)	6 808
RFV compactada 60/40	7 724
RFV compactada 70/30	9 089
Roca fosfórica de Navay (Venezuela)	8 922

<sup>2</sup>Datos generados por Médez y Triviño.

#### Biodisponibilidad en Aves.

Los datos reportados por Godoy y Chicco (1991) indican que los yacimientos de fosfatos venezolanos podrían aportar de 60 a 70% de la suplementación fosfática en la alimentación de

aves, sin incurrir en problemas de toxicidad por flúor u otro elemento.

En el caso de otras especies, el uso de estos yacimientos para alimentación debe tomar en cuenta los niveles establecidos de tolerancia específica al flúor. En Venezuela se continúan estas investigaciones conducentes a la sustitución parcial del fosfato dicálcico importado.

#### Consideraciones Ambientales.

Schultz *et al.* (1992) han discutido el efecto de los fertilizantes fosfatados sobre el ambiente. En primer lugar, hacen consideraciones sobre la minería y las operaciones de beneficio del yacimiento, lo cual puede afectar el ambiente en la siguiente forma: 1) cambios en la fertilidad del suelo y capacidad de retención de humedad; 2) pérdida de vegetación y de fauna; 3) pérdida de valores recreacionales, históricos y arqueológicos; 4) efecto sobre acuíferos poco profundos y aguas superficiales, tanto en su contaminación (eutrofización) como en su disminución por el uso de agua en el proceso; 5) erosión causada por agua y viento; 6) concentración y/o escape de elementos radioactivos (U, Ra) dañinos a la salud humana y 7) contaminación ambiental debido a humo y ruidos de los equipos de minería. La recuperación de tierras en áreas de minería, tanto para uso agrícola como para su preservación ambiental, tiene un costo muy elevado, lo cual se refleja en el precio final del producto.

Uno de los problemas más importantes al usar roca fosfórica para la producción de ácido fosfórico vía humedad, es la generación de 5 t de fosfoyeso por cada tonelada de  $P_2O_5$  en el ácido fosfórico. En Venezuela, la planta de ácido fosfórico que opera en Morón ha producido en los últimos dos años 200 000 t de fosfoyeso, lo cual constituye un problema ambiental. Actualmente se estudian las alternativas de uso agrícola de este residuo como fuente de azufre y calcio, y mejorador de suelos sódicos.

Todos los yacimientos fosfáticos poseen cantidades variables de elementos contaminantes y radioactivos (considerados estratégicos), tal como se muestra en el Cuadro 8. Si se comparan los contenidos de estos elementos en las rocas de Marruecos (M) y Carolina del Norte (CN), las más

comercializadas en el mundo, con las rocas fosfáticas venezolanas, se observa que CN tiene el doble de Cd que M y que las rocas de Venezuela, Monte Fresco (MF) y Riecito (R), e igual nivel que la roca de Navay. Este elemento es muy importante por su incorporación en la cadena alimenticia, a través del suelo y las plantas, con efectos adversos en los riñones de humanos y animales.

Cuadro 8. Elementos potencialmente contaminantes en yacimientos fosfáticos en el mundo (valores promedio).

Yacimientos	Elemento (ppm)			Elemento radioactivo	
	Cd	Cr	Pb	U-238	Ra-236
	----- ppm -----				
<b>Sedimentarios</b>				<b>40</b>	<b>38</b>
Marruecos	15	200	10		
Túnes	40	144	4		
<b>Estados Unidos</b>					
Florida Central	9	60	17		
Florida Norte	6	65	12		
Carolina del Norte	38	158	8		
Occidental	92	637	12		
<b>Venezuela</b>					
Monte Fresco	15	116	<50	50-100	
Navay	32	120	<50		
Riecito	17	42	<50		
<b>Fosfoyeso</b>				<b>3</b>	<b>31</b>
<b>Ígneo</b>				<b>2</b>	<b>1-2</b>
Africa del Sur	1	1	11		
Ex Unión Soviética	1	-	-		

- : No hay información.

#### Proyección en la Demanda de Rocas Fosfóricas Naturales y Modificadas en la Agricultura Actividad Pecuaria y Uso Industrial en Venezuela.

Casanova (1991) realizó una proyección de las necesidades de rocas fosfóricas naturales y modificadas en Venezuela a corto plazo, basada en parámetros como superficie sembrada y fertilizada, categorías de suelos respecto a disponibilidad de fósforo, necesidades de  $P_2O_5$  por grupos de cultivos, todo esto en función de los resultados experimentales explicados en la primera sección de este trabajo.

En el Cuadro 9 se presenta un resumen de la demanda de rocas fosfóricas micronizadas, aciduladas, incorporadas en productos N-P-K y granuladas. Se hace evidente dentro de una

Cuadro 9. Proyección de la demanda de rocas fosfóricas naturales y modificadas en la agricultura venezolana a corto plazo (Fuente: Casanova, 1991).

Años	Roca fosfórica micronizada <sup>1)</sup>	Roca fosfórica acidulada <sup>2)</sup>	N-P-K con roca fosfórica <sup>3)</sup>	Roca fosfórica granulada <sup>4)</sup>
1992	66 000		7 000	55 000
1993	130 000	100 000	9 500	60 000
1994	200 000	200 000	8 000	65 000
1995	260 000	300 000	6 700	71 000
1996	330 000	400 000	6 500	76 000
1997	-	500 000	6 000	82 000

1) Para cultivos permanentes, pastos y desarrollos forestales.

2) Para cultivos anuales.

3) Sustitución de 15% del fosfato diamónico por roca fosfórica micronizada, en productos NPK, valores en t de  $P_2O_5$ .

4) Para algunos cultivos extensivos permanentes cuya aplicación al voleo requiere granulación (caña de azúcar, pastos, palma africana, yuca).

agricultura deseable, y aprovechando la mayor disponibilidad agroecológica para cultivos permanentes, un potencial de 330 000 t en 1996, con un consumo inicial de 66 000 t, lo cual está dentro de la capacidad de molienda de las plantas micronizadoras del estado de Táchira. Las necesidades de rocas parcialmente aciduladas a 40% se estiman en 100 000 t en 1993 y en 500 000 t en 1997. En este sentido se ha avanzado mucho en los proyectos de factibilidad y de ingeniería básica en la construcción de dos plantas (Morón y Táchira) con capacidad de 150 000 t cada una.

En los fertilizantes NPK tradicionales es posible sustituir 15% del fósforo total por roca fosfórica, sin desmejorar la fórmula o la respuesta agronómica de los cultivos, o en el proceso de compactación roca-superfosfato. Las necesidades potenciales de estos productos se han estimado en aproximadamente 7 000 t de  $P_2O_5$  por año o 28 000 t de roca fosfórica para incorporar a las fórmulas NPK.

Casanova (1991) también ha realizado estimaciones de la demanda para 1993 de fosfatos para la suplementación de la alimentación de 15 millones de bovinos en pastoreo, asciende a 45 000 t de esta  $P_2O_5$ , y para las fábricas de alimentos concentrados con una demanda de 23 000 t de  $P_2O_5$ . Igualmente, la demanda del sector industrial para la producción de tripolifosfatos y

pirofosfatos para uso en detergentes, así como fuentes de curado de alimentos, chichles, embutidos, tratamiento de aguas, etc., se ha estimado en 52 000 t de  $P_2O_5$ . Esta demanda sólo es satisfecha parcialmente por la producción nacional y, en consecuencia, se mantiene una dependencia particularmente en el sector de ácido fosfórico y fosfatos para alimentos concentrados y suplementación de la alimentación de bovinos en pastoreo.

## CONCLUSIONES

Con base en el análisis realizado en este trabajo en el sector agronómico, pecuario, ambiental e industrial, se pueden enumerar las siguientes conclusiones:

1. Existen recursos fosfáticos nacionales para cubrir la demanda de fosfatos para el sector agrícola y pecuario; pero todavía se dependerá parcialmente de productos importados para el sector animal e industrial.
2. Las rocas fosfóricas micronizadas serán una mejor opción en los cultivos permanentes, pastos y forestales debido a su relativa baja solubilidad.
3. Las rocas fosfóricas modificadas, aciduladas y compactadas, han demostrado

buena respuesta agronómica en cultivos anuales, lo cual permitirá una sustitución progresiva de las fuentes importadas como superfosfato triple y fosfato diamónico.

4. Con base en una agricultura deseable se han realizado proyecciones de demanda de rocas fosfóricas naturales y modificadas, las cuales se pueden satisfacer actualmente o en los próximos dos años con los recursos nacionales y las plantas de rocas fosfóricas aciduladas a construirse en Morón y Táchira.

#### RECOMENDACIONES

1. Es fundamental en la proyección de demandas, conocer una serie de parámetros como superficies sembradas y fertilizadas, niveles de fósforo en los suelos, requerimientos de fósforo de los cultivos y la respuesta de éstos a las diferentes fuentes de roca fosfórica, lo cual permitirá que estas demandas sean lo más cercanas a la realidad agrícola, pecuaria e industrial de Venezuela.
2. Es importante que las operaciones de minería, beneficios, uso agronómico, pecuario e industrial de la roca fosfórica, se hagan dentro de criterios de ambientes sostenibles.

#### LITERATURA CITADA

- BOLAN, N.S., M.J. HEDLEY, R. HARRISON, and A.C. BRAITHWAITE. 1990. Influence of manufacturing variables on characteristics and the agronomic value of partially acidulated phosphate fertilizers. *Fert. Res.* 26: 119-138.
- CASANOVA, E. 1991. Las rocas fosfóricas naturales y modificadas y su uso potencial en cultivos y suelos en Venezuela. PALMAVEN y Universidad Central de Venezuela - Facultad de Agronomía.
- CASANOVA, E. y A. LOPEZ P. (eds.). 1991. Alternativas como fertilizantes para los depósitos de fosfato de la América Tropical y Subtropical. II Reunión de la Red Latinoamericana de Rocas Fosfóricas. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 17: 1-4.
- CASANOVA, E., E. CHACON y L. ARRIOJAS. 1991. Manejo de pasturas como posible solución al programa del síndrome parapléjico en Venezuela. Primer Congreso Venezolano de Ecología.
- CASANOVA, E., M.J. PEREZ, and M. FLORES. 1992. Agronomic evaluations of phosphate rocks and slags on Upata acid soil, Bolivar state, Venezuela. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (En prensa).
- CASANOVA, E., and P.R. SOLORZANO. 1992. Corn, sorghum, and soybean response to phosphate rocks on acid soils in Venezuela. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (En prensa).
- GODOY DE LEON, S. y C. CHICCO. 1991. Uso de fosfatos sedimentarios en la alimentación animal. In: E. Casanova y A. López P. (eds.) "Alternativas como fertilizantes para los depósitos de fosfato de la América Latinoamericana de Rocas Fosfóricas". *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 17: 281-298.
- SCHULTZ, J.J., D. IAN GREGORY, and O.P. ENGELSTAD. 1992. Phosphate fertilizers and the environment. A Discussion Paper. International Fertilizer Development Center. Muscle Shoals, Alabama, USA.

## FERTILIZACION FOSFORICA EN SISTEMAS CON BAJOS INSUMOS EN LOS TROPICOS HUMEDOS DEL PERU

Phosphorus Fertilization in Low Income Systems in the Humid Tropics of Peru

Julio C. Alegre Orihuela<sup>a)</sup>, Mwenja Gichuru<sup>b)</sup> y Pedro A. Sánchez<sup>c)</sup>

<sup>a)</sup>PhD Físico de Suelos, Líder del Proyecto Suelos Tropicales, Yurimaguas, Loreto-Perú.

<sup>b)</sup>PhD Fertilidad de Suelos, Investigador IITA Ibadan, Nigeria.

<sup>c)</sup>PhD Manejo de Suelos, Director ICRAF, Nairobi, Kenya.

*Palabras clave:* Roca fosfórica, Arroz, Caupí, Suelos ácidos.

*Index words:* Phosphate rock, Rice, Cowpea, Acid soils.

### RESUMEN

La aplicación directa de la roca fosfórica es de mucho interés en un sistema de bajos insumos porque es menos costosa que el superfosfato y su disponibilidad de P es mayor en los suelos ácidos que en los suelos neutros o encalados. Se desarrolló un primer experimento en un suelo franco fino silíceo Isohipertérmico Típico Paleudult, recién desmontado con el fin de evaluar los efectos de la roca fosfórica de Bayovar y el superfosfato simple, bajo dos sistemas de labranza (sin labranza y rototillado), en el rendimiento de los cultivos. Las dosis de P fueron 0, 11, 22, 44 y 88 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado al inicio del experimento y un tratamiento adicional de 11 kg P ha<sup>-1</sup> por cultivo. Se usó una rotación de cultivares tolerantes al aluminio de arroz- (*Oryza sativa* L.)-arroz-caupí (*Vigna unguiculata*)-arroz-arroz-caupí. El segundo experimento se realizó en el mismo tipo de suelo, pero que ya había sido usado con 11

cultivos previos y dos coberturas sin fertilización alguna. Se probaron los siguientes tratamientos: 0-0; 10-0; 20-0; 10-25 y 20-25 (P-K, en kg ha<sup>-1</sup>), usando la roca fosfórica de Bayovar como fuente de P, aplicados sólo en el primer cultivo. Se evaluaron cinco cultivos (arroz-arroz-caupí-arroz-caupí). Los objetivos generales de estos dos experimentos fueron los de evaluar: a) la posibilidad de usar la roca fosfórica en aplicación directa para la producción de cultivos tolerantes a la acidez, b) las dosis apropiadas de P para un sistema de bajos insumos y c) la posibilidad de la aplicación superficial de P.

En el primer experimento no se encontraron diferencias significativas entre las fuentes de fósforo. Esto se pudo haber debido a la acidez (50% de saturación) del suelo, la cual mejoró la solubilidad de la roca. El primer cultivo de arroz produjo significativamente más grano en el tratamiento con rototiller, comparado con el no labrado. El segundo (arroz) y tercer (caupí) cultivo no mostraron diferencias significativas. Para los cultivos subsiguientes, el tratamiento sin labranza rindió mejor que el tratamiento con rototiller.

La roca fosfórica fue tan efectiva como el superfosfato en suplir P disponible. Se produjo un total de 13.9 t ha<sup>-1</sup> de arroz en

Recibido 08-93.



grano para cinco cosechas en un área recién desmontada sin cal ni fósforo. El arroz no respondió a las aplicaciones de P, pero el caupí sí respondió a la aplicación de roca fosfórica hasta los 22 kg P ha<sup>-1</sup>.

En el segundo experimento no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para los tres primeros cultivos (arroz-arroz-caupí) pero sí para el cuarto (arroz) y quinto (caupí) cultivos. Los rendimientos fueron mayores que el control con los niveles de 10 y 20 kg de P ha<sup>-1</sup> como efecto residual. Estas respuestas indican que la roca fosfórica es una fuente de P muy promisoría para los sistemas de bajos insumos en que se usen cultivos tolerantes a la acidez del suelo.

### SUMMARY

Direct application of phosphate rock is a very important practice in a low income system because it is less expensive than superphosphate and its P availability is higher in acid than in neutral or limed soils. An initial experiment was carried out in a fine loam silicic Isohyperthermic Typic Paleudult, just cleared for cultivation, with the purpose of evaluating the effects of Bayovar phosphate rock and single superphosphate, under two tillage systems (no tilled and rototilled), on crop yield. Phosphate rates tested were 0, 11, 22, 44, and 88 kg ha<sup>-1</sup> applied at the initiation of the experiment, and one additional treatment of 11 kg P ha<sup>-1</sup> in each crop. A rotation of aluminum-tolerant crops was used, including rice (*Oryza sativa* L.) -rice-cowpea (*Vigna unguiculata*)-rice-rice cowpea. The second experiment was carried out on the same soil type, but which had been used with 11 previous crops and two mulches without fertilization. The following treatments were tested: 0-0, 10-0, 20-0, 10-25, and 20-25 (P-K, in kg ha<sup>-1</sup>) using Bayovar phosphate rock as P source, applied only to the first crop. Five crops were evaluated (rice-rice-cowpea-rice-cowpea). The general objectives of these two experiments were the assessment of: a) the possibility of using phosphate rock in direct application for production of acid-tolerant crops, b) proper P rates for a low-income system, and c) the possibility of shallow P application.

In the first experiment no significant differences were found among phosphorus rates. This could have been the result of soil

acidity (50% saturation), which improved the solubility of the rock. In the first rice crop the rototilled treatment yielded significantly more grain than the no-tilled treatment. The second (rice) and third (cowpea) treatments did not show significant differences. For the subsequent crops, the no-tilled treatment yielded better than the rototilled.

Phosphate rock was as effective as superphosphate in supplying available P. A total of 13.9 t ha<sup>-1</sup> of rice grain was produced in five harvests in a field just cleared for cultivation, without lime or phosphorus application. The rice crop did not respond to the P application, but the cowpea responded to the application of phosphate rock up to the application of 22 kg P ha<sup>-1</sup>. No significant differences among treatments were found in the second experiment for the first three crops (rice-rice-cowpea), but they did were found for the fourth (rice) and fifth (cowpea) crops. Yields higher than the control were obtained with the 10 and 20 kg P ha<sup>-1</sup> levels, as residual effect. These responses indicate that the phosphate rock is a promising P source for those low income systems where crops tolerant to soil acidity are grown.

### INTRODUCCION

Los Ultisoles de la Cuenca Amazónica del Perú son generalmente ácidos y deficientes en fósforo (Sánchez y Buol, 1974). Los problemas de fertilidad pueden ser corregidos por el encalado y prácticas de fertilización muy similares a los desarrollados en los Ultisoles del sureste de los Estados Unidos (Sánchez *et al.*, 1993). Sin embargo, la pobre infraestructura y otros problemas socioeconómicos han limitado la transferencia de esta tecnología a las áreas donde el agricultor todavía practica la agricultura migratoria. Esta agricultura actualmente se está volviendo inestable debido al aumento de la población en muchas áreas de la Amazonía, incluyendo Yurimaguas, Perú (Wade y Sánchez, 1983). El sistema de producción con bajos insumos descrito por Sánchez y Salinas (1981), es una alternativa a la agricultura migratoria en áreas donde los períodos de barbecho (descanso) son demasiados cortos y la tecnología de altos insumos es limitada por la falta de infraestructura y mercado. La aplicación directa de la roca fosfórica es de interés en un sistema de bajos insumos, porque es más barata que el

superfosfato (Khasawneh y Doll, 1978; Sánchez y Uehara, 1980; Yost *et al.*, 1982) y la efectividad de la roca fosfórica es mejorada por las condiciones ácidas del suelo. El uso de cultivos tolerantes a la acidez permitirá una mejor utilización del P proveniente de la roca fosfórica, debido a que las condiciones ácidas permiten una mayor disolución de la apatita (Khasawneh y Doll, 1978). La aplicación superficial de P, sin incorporación, es de interés no solamente por su reducido costo de energía y conservación del suelo, sino también porque es una transición más gradual de una agricultura migratoria a cultivos continuos. La aplicación superficial de P soluble, como fertilizantes, ha sido reportada como comparable con la aplicación e incorporación, en cuanto a la disponibilidad de P para los cultivos (Estes, 1972; Hargrove *et al.*, 1982; Kang y Yunusa, 1977; Singh *et al.*, 1966). No se tiene información sobre la aplicación superficial de roca fosfórica para cultivos anuales.

Los objetivos de estos dos experimentos fueron los de evaluar: a) la posibilidad de usar la roca fosfórica en aplicación directa para la producción de cultivos tolerantes a la acidez, b) las dosis apropiadas de P para un sistema de bajos insumos y c) la posibilidad de la aplicación superficial de P.

## MATERIALES Y METODOS

Los dos experimentos fueron conducidos en un suelo franco fino silíceo Isohipertérmico Típico Paleudult de la Estación Experimental de Yurimaguas, Perú (Tyler *et al.*, 1978). En el primer experimento se usó una área recién desmontada con un diseño de parcelas sub-sub

divididas con cuatro repeticiones. Las propiedades químicas iniciales se muestran en el Cuadro 1. Los tratamientos principales fueron: a) sin labranza con aplicación superficial de los fertilizantes y b) rototillado con los fertilizantes aplicados al voleo e incorporados a 10 cm de profundidad. Las subparcelas fueron las fuentes de P: 1) superfosfato simple (SS) y 2) roca fosfórica de Sechura (RF) cuyas características son descritas en el Cuadro 2. Las sub-subparcelas fueron las dosis de P: 0, 11, 12, 44 y 88 kg ha<sup>-1</sup>, aplicadas sólo al inicio, y un tratamiento adicional de 11 kg P ha<sup>-1</sup> por cultivo, lo que hizo un total de 24 tratamientos. En adición los siguientes fertilizantes fueron aplicados uniformemente en todas las parcelas: 50 kg N ha<sup>-1</sup> como urea en el primer cultivo de arroz y después 40 kg N ha<sup>-1</sup> por cultivo de arroz; 100 kg de K como K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> por cultivo de arroz, 25 kg ha<sup>-1</sup> de Mg como MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O por cultivo; 1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn y Cu como sulfatos y aplicados una sola vez, no se aplicó cal. Se usó una rotación de arroz-arroz-caupí-arroz-caupí. En el segundo experimento se usó una área continuamente manejada con 11 cultivos y dos coberturas sin fertilización, con un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Los resultados del análisis químico inicial son mostrados en el Cuadro 3. Los tratamientos fueron 0-0, 10-0, 20-0, 10-25 y 20-25 (P-K, en kg ha<sup>-1</sup>) usando la RF Bayovar como fuente de P y el KCl como fuente de K; se aplicaron 30 kg de N ha<sup>-1</sup> a cada cultivo de arroz y a todos los tratamientos. Se evaluó una rotación de arroz-arroz-caupí-arroz-caupí. Los residuos de los cultivos y de las malezas se dejaron en el campo. Los rendimientos de grano fueron obtenidos en un área de 6 m<sup>2</sup> y sus rendimientos se expresaron con base en 14 % de humedad.

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo inmediatamente después del corte y quema en el Experimento 1.

Profundidad	pH	Acidez	Ca	Mg	K	CIC efectiva	Saturación de Al	P (Olsen mod.)
cm		- - - -	cmoles kg L <sup>-1</sup>	suelo	- - - -	%	ppm	
0-15	4.5	1.9	1.3	0.4	0.15	3.8	50	14
15-30	4.3	3.9	0.5	0.1	0.11	4.6	85	4
30-45	4.3	4.1	0.4	0.1	0.09	4.7	87	3

Fuente: Gichuru y Sánchez (1988).



rendimiento de grano para las dos fuentes de P (Cuadro 4). Esto se pudo haber debido a la acidez (50%) del suelo, la cual mejoró la solubilidad de la roca (Cuadro 1 y 2). La roca fosfórica Bayovar de Sechura es considerada altamente soluble, por lo tanto es una buena opción para suelos ácidos con sistemas de bajos insumos (Hoffman y Breen, 1964). Las dos fuentes de P, el superfosfato simple y la roca fosfórica, produjeron valores similares de P extractable (Cuadros 7 y 8).

#### Efecto de la labranza

El primer cultivo de arroz produjo significativamente mayores rendimientos de grano con el tratamiento con rototiller,

comparado con el no labrado (Cuadro 5). Las parcelas con rototiller produjeron 840 kg ha<sup>-1</sup> más de grano debido al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo y tal vez a una distribución más uniforme de los insumos químicos, residuos de cultivos, materia orgánica y ceniza proveniente de la quema (no medida). El segundo y tercer cultivo no mostraron diferencias significativas. El efecto beneficioso de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo desapareció probablemente debido al tráfico humano durante el deshierbe y la cosecha. Después del tercer cultivo ocurrieron reducciones severas en los rendimientos en los tratamientos con rototiller. El cuarto, quinto y séptimo cultivo produjeron significativamente más grano en los tratamientos sin labranza.

Cuadro 5. Rendimiento de grano influenciado por la aplicación de roca fosfórica y los tratamientos de labranza (Experimento 1).

Fuente de P kg ha <sup>-1</sup>	Secuencia de cultivo y especie								$\bar{X}$ Arroz	$\bar{X}$ Caupí
	1 Arroz	2 Arroz	3 Caupí	4 Arroz	5 Arroz	6 Caupí	7 Arroz	t ha <sup>-1</sup>		
<b>Sin labranza</b>										
0	2.38	1.98	1.05	2.92	2.59	0.76	4.07	2.79	0.91	
11	2.56	2.18	1.34	2.96	2.48	1.01	3.99	2.83	1.17	
11 <sup>+</sup>	2.64	2.41	1.46	3.22	2.49	1.34	4.50	3.05	1.40	
22	3.09	2.54	1.63	3.03	2.48	1.35	4.08	3.04	1.49	
44	2.75	2.59	1.50	3.05	3.11	1.25	4.22	3.16	1.37	
88	3.10	2.64	1.54	2.85	2.76	1.46	4.55	3.18	1.50	
LSD(0.05)	NS	0.42	0.30	NS	NS	NS	NS	NS	0.27	
<b>Rototillado</b>										
0	3.33	1.59	0.95	2.38	1.78	0.70	3.22	2.46	0.83	
11	3.59	2.16	1.17	2.15	1.85	0.97	3.68	2.69	1.07	
11 <sup>+</sup>	3.54	2.35	1.54	2.46	2.06	1.31	3.62	2.81	1.43	
22	3.78	2.49	1.57	2.63	2.21	1.08	3.57	2.94	1.33	
44	3.64	2.68	1.66	2.37	2.16	0.94	3.70	2.91	1.30	
88	3.67	2.63	1.67	2.50	2.32	1.25	4.19	3.06	1.46	
LSD(0.05)	NS	0.27	0.33	NS	NS	0.43	NS	NS	0.32	
<b>Promedio de labranza</b>										
Sin labranza	2.75	2.41	1.42	3.00	2.65	1.19	4.24	3.01	1.31	
Rototillado	3.59	2.32	1.43	2.42	2.06	1.04	3.66	2.81	1.24	
DLS(.05)	0.24	NS	NS	0.25	0.30	NS	0.31	NS	NS	
CV (%)	13	10	15	16	21	25	14			

<sup>+</sup> 11 kg P ha<sup>-1</sup> por cultivo.

Fuente: Gichuru y Sánchez (1988)

### Efecto de las dosis de P

Las respuestas en rendimiento para la aplicación de P fueron similares en los dos tratamientos de labranza (Cuadro 5). Por lo tanto, la siguiente discusión es con base en las parcelas no labradas.

Una respuesta significativa en rendimiento de grano por efecto del P se obtuvo solamente en la segunda y tercera cosecha (Cuadro 5). En el segundo cultivo de arroz la aplicación de 11, 22, 44 y 88 P ha<sup>-1</sup> produjo 10, 28, 36 y 33% más grano que el control, respectivamente. En el tercer cultivo los rendimientos del caupí con la aplicación de 11, 22, 44 y 88 kg P ha<sup>-1</sup>, fueron 28, 55, 43 y 47% más altos que el control. La aplicación de 11 kg P ha<sup>-1</sup> por cultivo produjo rendimientos similares a los 22 kg P ha<sup>-1</sup>. Otros cultivos no mostraron respuesta significativa a las aplicaciones de P, pero hubo una tendencia general a producir mayor rendimiento que el control, al aumentar las dosis de P.

La falta de una respuesta significativa en el primer cultivo se pudo haber debido al alto contenido de P en la superficie

(Cuadro 1), mayor de 12 mg kg<sup>-1</sup>, que es el nivel crítico de P para cultivos sensibles a la acidez (Villachica, 1978).

El análisis de suelo mostró que el P extractable en la capa superior del suelo (0-7.5 cm) decreció al término del primer cultivo de arroz, seis meses después de la aplicación (Cuadro 6).

Como resultado del aumento en las dosis de P, se incrementó el nivel de P extractable en la capa superficial del suelo, concentrándose la mayor parte en los primeros 7.5 cm (Cuadro 7).

En general, el rendimiento de arroz no mostró respuesta significativa a la aplicación de P. La habilidad de esta variedad de arroz en producir 2.8 t ha<sup>-1</sup>, después de cinco cultivos sin cal ni P, es muy remarcable. En contraste, el caupí reponió a las aplicaciones de hasta 22 kg P ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 6. Fósforo extractable en los primeros 15 cm de profundidad influenciados por la dosis de roca fosfórica a 6 y 17 meses después de aplicado (después del primer y cuarto cultivos).

Labranza cultivo No.	Tiempo meses	Dosis de fósforo, kg P ha <sup>-1</sup>					
		0	11	11 <sup>+</sup>	22	44	88
<b>Roca fosfórica</b>							
<b>Sin labranza</b>							
1	6	8	9	9	13	11	13
4	17	8	11	12	13	11	19
<b>Rototillado</b>							
1	6	7	8	13	12	12	14
4	17	8	9	14	11	12	20
<b>Superfosfato Simple</b>							
<b>Sin labranza</b>							
1	6	9	10	11	13	11	16
4	17	9	11	14	15	12	18
<b>Rototillado</b>							
1	6	7	10	11	11	12	18
4	17	8	9	14	11	12	19

<sup>+</sup> 11 kg P ha<sup>-1</sup> por cultivo.

Fuente: Gichuru y Sánchez (1988)

## EXPERIMENTO 2

En el segundo experimento no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para los tres primeros cultivos arroz-arroz-caupí (Cuadro 8). Esto se debió al buen abastecimiento de P en las cenizas del kudzu previamente quemado antes del primer cultivo, como se puede ver en el análisis del suelo (Cuadro 3). En el cuarto cultivo con arroz y quinto cultivo con caupí, todos los tratamientos con P fueron significativamente mayores que el tratamiento sin P.

Estos efectos son residuales ya, que se hizo una sola aplicación al inicio del primer cultivo con arroz.

Los niveles de P en el suelo después del tercer y quinto cultivos (11 y 20 meses después de la primera aplicación) fueron bajos para el tratamiento sin P. El efecto residual del P se mantuvo para los otros tratamientos (Cuadro 9). Estas variedades de arroz y caupí son altamente resistentes a la acidez del suelo y sus requerimientos de nutrientes son bajos. Por ejemplo, el nivel crítico de P para maíz es de 15 ppm mientras que para el caupí está por debajo de 7 ppm.

Cuadro 7. Fósforo extractable en los primeros 15 cm de profundidad influenciado por la dosis de roca fosfórica a 10 y 21 meses después de aplicado (después del segundo y quinto cultivos) (Experimento 1).

Labranza cultivo No.	Tiempo meses	Profundidad cm	Dosis de fósforo, kg P ha <sup>-1</sup>					
			0	11	11 <sup>+</sup>	22	44	88
<b>Roca fosfórica</b>								
<b>Sin labranza</b>								
2	10	0-7.5	12	14	13	17	14	19
		7.5-15	6	8	7	9	7	8
5	21	0-7.5	8	9	18	10	9	17
		7.5-15	5	5	8	6	7	7
<b>Rototillado</b>								
2	10	0-7.5	9	10	13	15	16	23
		7.5-15	7	7	9	8	13	9
5	21	0-7.5	8	9	15	12	11	18
		7.5-15	5	7	7	6	6	8
<b>Superfosfato simple</b>								
<b>Sin labranza</b>								
2	10	0-7.5	12	14	14	19	15	20
		7.5-15	6	6	7	10	7	10
5	21	0-7.5	8	10	13	12	12	17
		7.5-15	5	5	6	7	6	8
<b>Rototillado</b>								
2	10	0-7.5	9	10	13	14	15	24
		7.5-15	7	6	7	6	6	8
5	21	0-7.5	8	10	16	10	11	18
		7.5-15	5	6	7	6	6	10

<sup>+</sup>11 kg P ha<sup>-1</sup> por cultivo.

Cuadro 8. Efecto de los niveles de P como roca fosfórica para cinco cultivos consecutivos (Experimento 2).

Tratamiento P-K	Secuencia de cultivo y especie				
	1 Arros	2 Arros	3 Caupí	4 Arros	5 Caupí
kg ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>				
0-0	2.16	1.65	0.99	1.00	0.50
10-0	1.95	1.53	1.00	1.85	1.10
20-0	2.38	1.27	1.13	1.55	1.21
10-25	2.37	1.92	1.20	1.90	1.18
20-25	1.80	1.78	1.21	1.78	1.30
DLS <sub>0.05</sub>	NS	NS	NS	0.41	0.45

Cuadro 9. Niveles de P extractable en el suelo, 11 y 20 meses después de la aplicación de los tratamientos con roca fosfórica (después del tercero y quinto cultivos) (Experimento 2).

Tratamiento P-K	11 meses	20 meses
kg ha <sup>-1</sup>	ppm	
0-0	5	4
10-0	9	7
20-0	12	10
10-25	12	8
20-25	13	9

## CONCLUSIONES

En un área recién desmontada: 1) la RF de Bayovar fue comparable al SS en suplir P disponible para la planta; 2) el rototiller fue superior a la no labranza, solamente para el primer cultivo, mientras que no hubo diferencias para el segundo y tercero y fue menor para los subsiguientes cultivos; 3) la respuesta al P en arroz fue inconsistente, ya que sólo hubo respuesta en dos de los siete cultivos en la subparcela no labrada. En un suelo infértil por el uso continuo de cultivos no hubo respuesta a los niveles de P con roca para los tres primeros cultivos (arroz-arroz-caupi); en los dos últimos cultivos, con arroz y caupi, se presentó un efecto residual significativo.

## LITERATURA CITADA

- ALEGRE, J.C. y R. CHUMBIMUNE. 1992. Investigaciones y usos de la roca fosfórica en el Perú. In: Memorias de la II Reunión de la Red Latinoamericana de Roca Fosfórica, San Cristobal, Edo. de Tachira, Venezuela, 13-16 de marzo de 1991.
- ESTES, G.O. 1973. Elemental composition of maize grown under no-till and conventional tillage. *Agron. J.* 74: 462-468.
- GICHURU, M.P., and P.A. SANCHEZ. 1988. Phosphate rock fertilization in tilled and no-till low input systems in the humid tropics. *Agron. J.* 80:943-947.
- HARGROVE, W.L., J.T. TOUCHTON, and R.N. GALLAHER. 1982. Influence of tillage practices on fertility status of an acid soil double-cropped to wheat and soybeans. *Agron. J.* 74:684-687.
- HOFFMANN, W.M., and H.J. BREEN. 1964. Phosphate rock solubilization by repeated extractions with citrate solutions. *J. Agric. Food Chem.* 12:344-346.
- HUNTER, A.H. 1974. International soil fertility evaluation and improvement laboratory procedures. Dept. of Soil Science, North Carolina State Univ., Raleigh.
- KANG, D.T., and M. YUNUSA. 1977. Effect of tillage methods and phosphorus fertilization on maize in the humid tropics. *Agron. J.* 69:291-294.
- KHASAWNEH, F.E., and E.C. DOLL. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Adv. Agron.* 30:159-205.
- PIHA, M.I., and J.J. NICHOLAIDES. 1983. Low input technologies: selection of acid-tolerant cultivars. p. 43-69. In: J.J. Nicholasides, W. Couto, and M.R. Wade (eds.). *Agronomic-economic research on soils on the tropics. Tech. Report for 1980-1981.* Dept. of Soil Science, North Carolina State Univ., Raleigh.
- SANCHEZ, P.A., and S.W. BUOL. 1974. Properties of some soils of the Amazon basin of Peru. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:117-121.
- SANCHEZ, P.A., and J.G. SALINAS. 1981. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. *Adv. Agron.* 34:279-406.
- SANCHEZ, P.A., J.H. VILLACHICA, and D.E. BANDY. 1993. Soil fertility dynamics after clearing a tropic rainforest in Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:1171-1178.
- SANCHEZ, P.A., and G. UEHARA. 1980. Management considerations of acid soils with phosphorus fixation capacity. p. 471-514. In: F.E. Khasawneh, E.C. Sample, and E.J. Kamprath (eds.). *The role of phosphorus in agriculture.* ASA-CSSA-SSSA, Madison.
- SINGH, T.A., G.W. THOMAS, W.W. MOSCHLER, and D.C. MARTENS. 1966. Phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) under no-till and conventional practices. *Agron. J.* 58:147-148.
- TYLER, E.J., S.W. BUOL, and P.A. SANCHEZ. 1978. Genetic associations of properties of soils of an area in the upper Amazon of Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:771-776.
- VILLACHICA, J.H. 1978. Maintenance of soil fertility under continuous cropping in an Ultisol of the Amazon jungle of Peru. Ph.D. Diss. North Carolina State University, Raleigh (Diss. Abstr. 79-05538).
- WADE, M.K., and P.A. SANCHEZ. 1983. Mulching and green manure application for continuous crop production in the Amazon basin. *Agron. J.* 75: 39-45.
- YOST, R.S., G.C. NADERMAN, E.J. KAMPRATH and E. LOBATO. 1982. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. *Agron. J.* 74: 462-468.

## ABSORCION DEL FOSFORO Y DEL FLUOR DE DIFERENTES FOSFATOS EN RUMIANTES

Absorption of Phosphorus and Fluorine from Different Phosphates in Ruminants

S. Godoy de León y C.F. Chicco

Instituto de Investigaciones Zootécnicas, CENIAP, FONAIAP  
Facultad de Ciencias Veterinarias, U.C.V.  
Convenio MAC-PDVSA, Venezuela.

*Palabras clave:* Biodisponibilidad relativa, Eficiencia de utilización, Absorción aparente y verdadera.

*Index words:* Relative bioavailability, Utilization efficiency, Apparent and true absorption.

### RESUMEN

Se realizaron dos experimentos en ovinos para determinar la absorción aparente (AA) y verdadera (AV), y la eficiencia de utilización (EU) del fósforo de los fosfatos dicálcico (DICAL), superfosfato triple (SFT) y de los yacimientos venezolanos de Riecito (RIO) y Monte Fresco (MONTE). En el primer experimento, la estimación de la EU se realizó con 16 corderos de 25 kg de peso promedio; se incluyeron dos niveles (0.05 y 0.20%) de fósforo, adicionados a una dieta basal (0.12 % P), con dos animales por fuente y nivel, en dos repeticiones en el tiempo. En el segundo experimento, para los estudios de AA y AV se utilizaron también 16 corderos, del mismo peso, divididos en grupos de cuatro animales cada uno y alimentados con dietas semipurificadas, con 0.20% de fósforo de cada fuente. En ambos experimentos se utilizó el método de colección total durante 7 días, previo un período de adaptación de 15 días con

los animales mantenidos en jaulas metabólicas. La EU del fósforo fue medida por el incremento en la retención del elemento, como porcentaje de la diferencia de la ingestión entre los dos niveles. La AA se midió como la diferencia entre la ingestión y la excreción fecal de fósforo. Con el uso de la técnica de dilución isotópica con  $^{32}\text{P}$  se determinó la AV del elemento. En este caso los animales fueron dosificados con 200  $\mu\text{Ci}$  de  $^{32}\text{P}$  ( $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$ ), por vía intravenosa, y se tomaron muestras de sangre y heces durante 7 días consecutivos, para el cálculo de la excreción endógena del elemento, a partir de las estimaciones de las actividades específicas. Los valores de AA y de EU (%) fueron de 53.6<sup>a</sup> y 56.0<sup>a</sup>; 68.7<sup>b</sup> y 89.6<sup>b</sup>; 42.7<sup>c</sup> y 41.0<sup>c</sup> y 32.7<sup>d</sup> y 35.6<sup>d</sup>, respectivamente, para DICAL, SFT, RIO y MONTE. La proporción de fósforo endógeno en relación con el fósforo total excretado en las heces fue mayor para DICAL (21.9<sup>a</sup>%) y SFT (24.0<sup>a</sup>%) en relación con los fosfatos de rocas (RIO:10.8<sup>b</sup>% y MONTE: 12.2<sup>b</sup>%). La AV (%) del elemento fue mayor fosfatos DICAL (63.8) y SFT (76.1), en relación con los fosfatos de rocas, RIO (42.7) y MONTE (32.7). La retención del flúor (%), como promedio de los dos niveles de ingestión, fue mayor ( $P<0.05$ ) para el SFT (75.8) que para MONTE (41.5) y éste mayor ( $P<0.05$ ) que RIO (20.8), con una correlación ( $r = 0.73$ ) entre retención del elemento y biodisponibilidad del fósforo.

Recibido 05-94.



## SUMMARY

Two experiments were carried out with sheep to determine the apparent (AA) and true absorption (AV) and utilization efficiency (EU) of phosphorus from dicalcium phosphate (DICAL), triple superphosphate (SFT) and from two Venezuelan natural phosphorus deposits (rawrock phosphates), Riecito (RIO) and Monte Fresco (MONTE). In the first experiment, the estimation of phosphorus EU was conducted with 16, 25 kg lambs, with two animals for source and level of phosphorus (0.05 and 0.20%), added to a basal semipurified diet (0.12% P), with two replications in time. In the second experiment, to determine AA and AV, also 16 lambs were used of the same weight, divided in groups of four animals, fed a semipurified diet with 0.20% P from the different phosphorus sources. In both experiments, total fecal and urinary collection method were used, during 7 day period, preceded by 15 days of adaptation to the diets and crates. Phosphorus EU was measured by the increment of the retention of the element, as porcentaje of the difference of the intake between the two phosphorus levels. Using the isotopic dilution technique with  $^{32}\text{P}$ , the AV was determined. In this case the animals were dosed intravenously with 200  $\mu\text{Ci}$  of  $\text{P} < \text{P} (\text{Na}_2\text{HPO}_4)$ , and blood and fecal samples were taken during 7 consecutive days, to estimate the endogenous secretion of the element, by calculating the specific activity. The values (%) of AA and EU were 53.6<sup>a</sup> and 56.0<sup>A</sup>; 68.7<sup>b</sup> and 89.6<sup>B</sup>; 42.7<sup>c</sup> and 41.0<sup>C</sup>; and 32.7<sup>d</sup> and 35.6<sup>D</sup>, respectively for DICAL, SFT, RIO and MONTE. The proportion of endogenous phosphorus in relation to total fecal excreted phosphorus was greater for DICAL (21.9<sup>a</sup>%) and SFT (24.0<sup>a</sup>%) in relation to RIO (10.8<sup>b</sup>%) and MONTE (12.2<sup>b</sup>%). The AV (%) of the element was greater ( $P < 0.05$ ) than the AA, with greater values ( $P < 0.1$ ) for DICAL (63.8) and MONTE (32.7). Fluorine retention (%), as an average of the two levels of intake, was greater ( $P < 0.05$ ) for SFT (75.8) than MONTE (41.5) and this was greater than RIO (20.8), with a significant correlation ( $r = 0.73$ ) between retention of the element and phosphorus availability.

## INTRODUCCION

Entre los factores responsables de la baja productividad de los rebaños venezolanos, las

carencias minerales, principalmente de fósforo, ocupan un lugar importante.

En forma generalizada, los niveles de fósforo de los pastizales no satisfacen los requerimientos mínimos de los bovinos de pastoreo, lo que determina reducción de consumo, bajas tasas de crecimiento, pariciones y producción de leche, así como anomalías óseas y otros trastornos metabólicos que pueden conducir a la muerte del animal.

La escasez y los precios elevados de las fuentes tradicionales de fósforo para consumo animal hacen que éste sea el elemento más costoso en la suplementación mineral, ya que representa aproximadamente 60% del total de una mezcla mineral para bovinos.

En Venezuela existen yacimientos de fosfatos estimados en 2000 millones de toneladas de reservas probables. Consecuentemente, la evaluación de estos fosfatos naturales es de interés económico y estratégico para el país. Las principales limitantes en el uso de estas fuentes en la alimentación animal son la aparente baja disponibilidad del fósforo y los altos niveles de flúor.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la biodisponibilidad del fósforo y la retención del flúor, a través de estudios de absorción, de dos de los principales fosfatos de yacimientos del país, así como del superfosfato triple (fertilizante), con fosfato dicálcico como testigo.

## MATERIALES Y METODOS

En dos experimentos con ovinos, se determinó la eficiencia de utilización (EU), la absorción aparente (AA) y verdadera (AV) del fósforo y la retención del flúor (RF) de dos fosfatos de yacimientos venezolanos, Riecito (RIO), en el estado de Falcón, y Monte Fresco (MONTE), en el estado de Táchira, un fertilizante (superfosfato triple; SFT), en comparación con un fosfato dicálcico (DICAL) como testigo.

Las concentraciones de calcio, fósforo y flúor en los fosfatos fueron respectivamente de 29.0, 22.7 y 0.0%; 24.6, 11.1 y 1.2%; 34.4, 11.0 y 2.5%; y 15.8, 19.3 y 2.6%, para DICAL, RIO, MONTE y SFT. Los valores de hierro, cobre, magnesio, zinc y cobalto fueron relativamente uniformes en los fosfatos de yacimiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido mineral de fosfatos.

Fuente <sup>1)</sup>	Ca	P	F	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Co
	- - - - - % - - - - -			- - - - - ppm - - - - -					
DICAL	29.0	22.7							
SFT	15.8	19.3	2.60	0.69	-	-	-	0.05	-
RIO	24.6	11.1	1.20	0.08	0.92	22	100	797	10
MONTE	34.4	11.0	2.50	0.12	0.37	19	39	449	15

1) DICAL = fosfato dicálcico; SFT = superfosfato triple; RIO = Riecito; MONTE = Monte Fresco.

Para los estudios de absorción se utilizaron ovinos machos, de 25 kg de peso promedio, mantenidos en jaulas de metabolismo, y alimentados diariamente con una ración basal (0.12% P), constituida por almidón de yuca, azúcar, harina de soya, aceite vegetal y tusa (raquis) de maíz, con 14.3% PC y 2.97 Mcal EM/kg (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales para la evaluación de fosfatos en ovinos.

Ingrediente	%	Fósforo, % <sup>1)</sup>	
		0.05	0.20
Asúcar	28.0		
Almidón de yuca	28.0		
Tusa maíz	27.5		
Harina de soya	9.0		
Aceite	2.0		
Urea	3.0		
Minerales	0.5		
CaCO <sub>3</sub>	0-1.27		
DICAL		0.22	0.88
SFT		0.24	0.95
RIO		0.46	1.82
MONTE		0.46	1.82
Proteína (%)		14.3	14.3
EM, Mcal/kg		2.97	2.97
Fósforo (%)		0.17	0.32
Calcio (%)		0.33	0.77

1) Niveles de P adicionados a la dieta basal. DICAL = fosfato dicálcico; SFT = superfosfato triple; RIO = Riecito; MONTE = Monte Fresco.

En el primer experimento, para la estimación de la EU del fósforo y de la RF, se utilizaron dos niveles de adición de fósforo (0.05 y 0.20%), con dos animales por fuente y nivel, en dos repeticiones en el tiempo. Para los estudios de AA y AV, en un segundo experimento, se utilizaron cuatro animales por tratamiento, alimentados con 0.20% de fósforo de cada fuente adicionado a la dieta basal.

En ambos experimentos se utilizó el método de colección total durante 7 días, previo un periodo de adaptación de 15 días.

La EU fue medida por el incremento en la retención del elemento, como porcentaje de la diferencia en la ingestión entre los dos niveles de fósforo (Hurwitz, 1964). La AA y la RF se determinaron como la diferencia entre la ingestión y la excreción fecal del fósforo y fecal más urinaria del flúor, respectivamente, expresada como porcentaje de la ingestión.

Con el uso de la técnica de dilución isotópica se determinó la AV del fósforo, a partir de la estimación de la fracción endógena del elemento, dosificando los animales, el primer día del periodo experimental, con 200 uCi de <sup>32</sup>P (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) en la vena yugular derecha. Se tomaron muestras de sangre de la yugular izquierda a los 5, 15 y 30 minutos y a 1, 1.5, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 196 horas postinyección. Las heces fueron recolectadas cada 24 horas hasta el séptimo día de la prueba.

A través de la relación entre las actividades específicas en heces y plasma (Kleiber *et al.*, 1951) se calculó el porcentaje de fósforo endógeno.

Durante el periodo experimental se midió el consumo de las dietas y la excreción de heces, y se tomaron alícuotas (10%) para análisis. La actividad específica de las heces y plasma fue medida por el efecto de Cerenkov en un contador de centelleo líquido. Para los análisis de fósforo inorgánico en plasma y heces se utilizaron las técnicas descritas por la AOAC (1980). Las determinaciones de calcio, hierro, cobre, zinc y cobalto se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica y la de flúor por electrometría.

Los resultados se presentan independientemente del orden de los experimentos. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, correlación y regresión, y a comparación de medias por el método de amplitudes múltiples de Duncan.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el primer experimento, la EU del fósforo (Cuadro 3) fue de 89.6% para el SFT y de 56.0% para DICAL, superiores ( $P < 0.01$ ) a los fosfatos de roca, que presentaron los valores más bajos (RIO, 41.0 y MONTE, 35.6%).

Cuadro 3. Eficiencia de utilización del fósforo en ovinos alimentados con diferentes fosfatos.

Balance <sup>3</sup>	Fuentes de fósforo <sup>2</sup> (%)							
	DICAL		SFT		RIO		MONTE	
	0.05	0.20	0.05	0.20	0.05	0.20	0.05	0.20
Ing.	1.70	3.20	1.71	3.06	1.71	3.66	1.70	3.25
Exc.	1.46	2.12	1.14	1.28	1.47	2.29	1.33	2.33
Ret <sup>4</sup>	0.24	1.08	0.57	1.78	0.24	1.37	0.37	0.92
EU <sup>4</sup> , %	56.0 <sup>a</sup>		89.6 <sup>b</sup>		41.0 <sup>c</sup>		35.6 <sup>c</sup>	

a, b, c Promedios con distintas letras son diferentes entre sí significativamente ( $P < 0.05$ ).

1) Cuatro corderos/tratamiento.

2) Niveles de P adicionados a la dieta basal (0.12%).

3) g día

4) Eficiencia de utilización (EU) =  $\frac{P \text{ ret na} - P \text{ ret nb}}{P \text{ ing na} - P \text{ ing nb}} \times 100$

DICAL = Fosfato de calcio; SFT = superfosfato triple, RIO = Riecito; MONTE = Monte Fresco.

En rumiantes, existe muy poca información sobre la eficiencia de utilización de fosfatos de yacimiento. En aves, los resultados de EU del fósforo de las rocas de RIO (67.2%) y MONTE (50.3%) fueron superiores a los obtenidos en este estudio (Godoy y Chicco, 1991).

Los resultados de AA (Cuadro 4) fueron de 68.7, 53.6, 35.8 y 23.5%, respectivamente para SFT, DICAL, RIO y MONTE, con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre SFT y DICAL con las demás fuentes. El fosfato de menor disponibilidad fue MONTE.

La cantidad de fósforo endógeno (Cuadro 4) en relación con el total excretado, fue mayor ( $P < 0.05$ ) para SFT (24.0%) y DICAL (21.9%), en comparación con los fosfatos de yacimientos, RIO (10.8%) y MONTE (12.2%). Esto indica que hubo mayor absorción de fósforo en los animales que recibían SFT y DICAL.

Cuadro 4. Absorción aparente y verdadera del fósforo de fosfatos en ovinos.

Balance	DICAL <sup>1</sup>	SFT	RIO	MONTE
P ingerido (g)	3.84	3.41	3.55	2.48
P excretado (g)	1.78	1.07	2.28	1.90
AA <sup>2</sup> (%)	53.6	68.7	35.8	23.5
PE <sup>3</sup> (%)	21.9	24.0	10.8	12.2
AV <sup>4</sup> (%)	63.8	76.1	42.7	32.7
BR <sup>5</sup> (%)	100 <sup>a</sup>	119 <sup>a</sup>	66.9 <sup>b</sup>	51.5 <sup>c</sup>

a, b, c promedios con distintas letras son significativamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ).

1) 0.20% P adicionado a la dieta basal (0.12% P)

2) AA = Absorción aparente

3) PE = Fósforo endógeno

4) AV = Absorción verdadera

5) BR = Biodisponibilidad relativa

En concordancia con esto, la AV (Cuadro 4) de DICAL (63.8%) y SFT (76.1%) fue superior ( $P < 0.01$ ) a RIO (42.7%) y MONTE (32.7%). El valor promedio de AV del SFT se relaciona con el obtenido por Reid (1980), quien encontró que el SFT fue altamente disponible cuando se comparó con el fosfato de sodio. La AV del DICAL (63.8%) se encuentra dentro de los valores reseñados por la literatura, de 50 a 70% (Lofgreen, 1960). Los valores de absorción de los fosfatos de roca fueron similares a los reseñados por Vitti (1989), e inferiores a los fosfatos de referencia.

La AV se correlacionó significativamente ( $P < 0.01$ ) con la AA ( $r = 0.89$ ) y la EU ( $r = 0.98$ ). Además, los animales que recibieron DICAL y SFT presentaron concentraciones más altas ( $P < 0.05$ ) de fósforo en plasma, 8.5 y 9.2 mg/100 mL, que RIO y MONTE, 7.5 y 7.8 mg/100 mL (Figura 1), las que se correlacionaron significativamente ( $P < 0.05$ ) con la AA ( $r = 0.91$ ), EU ( $r = 0.87$ ) y AV ( $r = 0.88$ ).

La biodisponibilidad relativa (%), tomando como referencia al DICAL (100), fue de 119, 66.9 y 51.3, respectivamente, para SFT, RIO y MONTE (Figura 2).

En el caso del flúor, la cantidad retenida aumentó con el nivel del elemento en la dieta (Cuadro 5). La retención de flúor, promedio de los dos niveles, expresada como porcentaje del ingerido, fue de 75.8 para el SFT, 41.5 para MONTE y 20.9 para RIO ( $P < 0.05$ ), lo que demuestra la mayor solubilidad del flúor del SFT (Underwood, 1977).

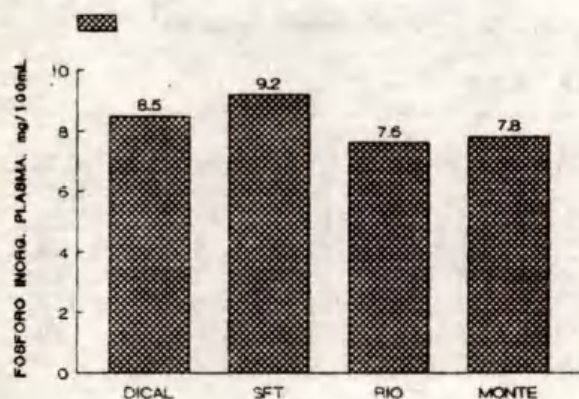


Figura 1. Concentración de fósforo en plasma de ovinos DICAL (fosfato dicálcico), SFT (superfosfato triple), RIO (Riecito), MONTE (Monte fresco).

La excreción total (heces y orina) de flúor aumentó con el incremento en la ingestión del elemento. La vía fecal fue la que determinó este patrón, ya que la eliminación urinaria permaneció constante (Figura 3).

La excreción total promedio de flúor (Cuadro 6) para los dos niveles de fósforo, expresada como porcentaje del flúor ingerido, fue mayor para los fosfatos de roca (RIO, 79.3; MONTE, 58.6) y menor para el SFT (24.2). En los fosfatos de yacimiento, la proporción de flúor excretada a través de las heces, expresada como porcentaje de la excreción total, fue de 86% para RIO y 88.5% para MONTE, lo que indica la menor absorción del flúor de estas fuentes. En el caso del SFT, el flúor se excretó en igual proporción en heces (51%) y orina (49%).

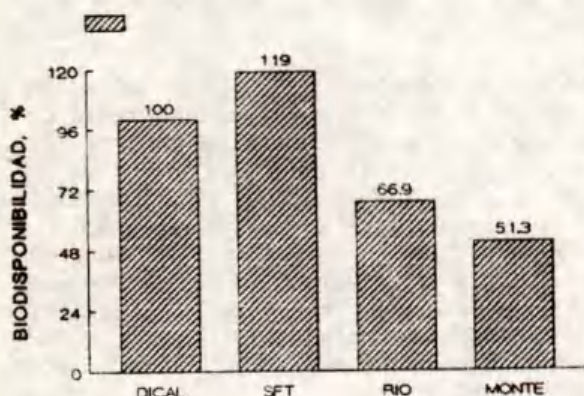


Figura 2. Biodisponibilidad relativa del fósforo en ovinos DICAL (fosfato decálcico), SFT (superfosfato triple), RIO (Riecito), MONTE (Monte fresco).

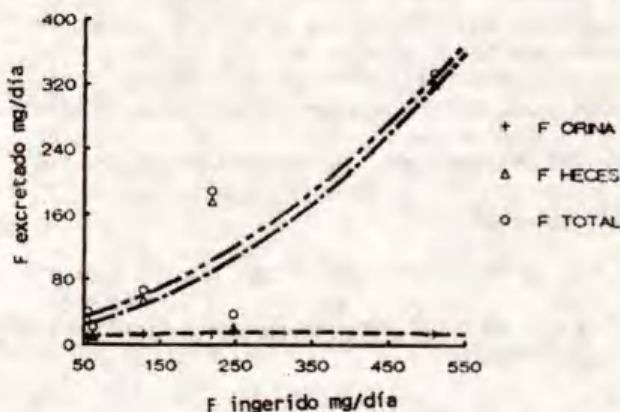


Figura 3. Excreción de flúor en ovinos.

Cuadro 5. Retención de flúor en ovinos suplementados con diferentes fosfatos<sup>1</sup>.

Balance	Fuentes de fósforo <sup>2</sup> (%)							
	ORTO		SFT		RIO		MF	
	0.05	0.20	0.05	0.20	0.05	0.20	0.05	0.20
Ingerido	-	-	62.4	247.0	55.2	218.1	128.8	509.6
Excretado	4.5	3.9	20.9	36.7	39.7	188.8	66.3	334.1
Retenido	-	-	41.5	210.3	15.6	29.6	62.5	175.5
Ret.; % ingerido	-	-	66.5 <sup>a</sup>	85.1 <sup>a</sup>	28.2 <sup>b</sup>	13.5	48.6 <sup>c</sup>	34.4 <sup>c</sup>

1) Cuatro corderos/tratamiento

2) Niveles de P adicionados a la dieta basal (0.12%), ORTO=ortofosfato de calcio; SFT =superfosfato triple; RIO=Riecito; MF=Monte Fresco.

Cuadro 6. Ingestión y excreción de flúor en ovinos suplementados con diferentes fosfatos<sup>1</sup>.

Balance	Fuentes de fósforo <sup>2</sup> (%)							
	ORTO		SFT		RIO		MF	
	0.05	0.20	0.05	0.20	0.05	0.20	0.05	0.20
Ingerido	-	-	62.4	247.0	55.2	218.1	128.8	509.6
Heces	1.8	1.7	9.4	20.8	31.0	176.7	53.8	320.5
Orina	2.7	2.4	11.6	16.0	8.7	12.1	12.5	13.6
Excretado	4.5	3.9	20.9	36.7	39.7	188.8	66.3	334.1
Heces, % excretado	-	-	45.0	57.0	78.0	94.0	81.0	96.0
Orina, % excretado	-	-	55.0	43.0	22.0	6.0	19.0	4.0

1) Cuatro corderos/tratamiento

2) Niveles de P adicionados a la dieta basal (0.12%), ORTO = ortofosfato de calcio; SFT = superfosfato triple; RIO = Riecito; MF = Monte Fresco

La excreción de flúor (Figura 4), cuando expresada como porcentaje del flúor ingerido, disminuyó con el incremento en el consumo del elemento, lo cual indica que la eliminación del elemento es total en baja ingestión, mientras que en niveles elevados tiene una tendencia creciente a acumularse en el organismo, particularmente en el tejido óseo (Suttie y Faltin, 1973; Underwood, 1977).

El patrón de excreción de flúor en la orina (Figura 5) indica que, para los diferentes fosfatos, el nivel máximo de concentración se alcanza entre 3 y 6 horas después de la

ingestión del elemento (Perkinson *et al.*, 1955).

Al relacionar los valores de absorción verdadera de fósforo, independientemente de las fuentes (Figura 6), se encontró que hay una correlación positiva con la retención de flúor ( $r = 0.73$ ;  $y = 7.55 e^{0.03x}$ ), negativa con la excreción fecal del elemento ( $r = 0.95$ ;  $y = 508.6 e^{-0.05x}$ ), cuando expresado como porcentaje de la ingestión, y de la eliminación total, lo que cual indica que la mayor biodisponibilidad del fósforo está asociada también a una mayor absorción del flúor (Underwood, 1977).

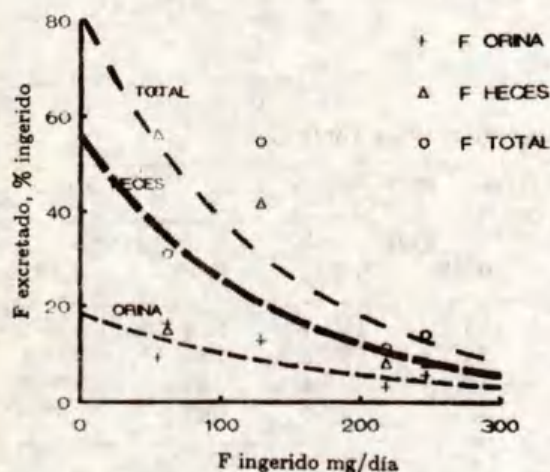


Figura 4. Flúor excretado como % del ingerido en ovinos.

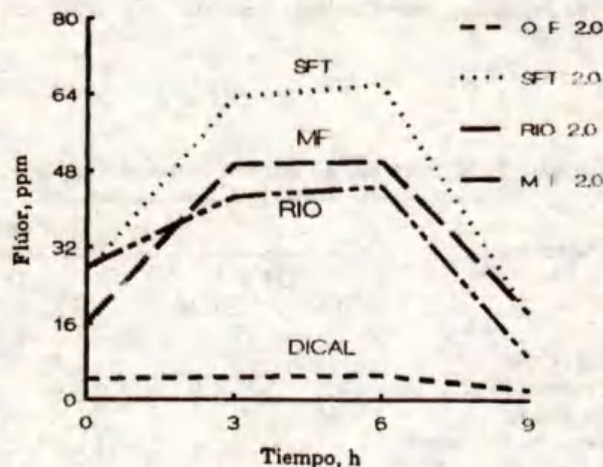


Figura 5. Concentración de flúor en orina de ovinos SFT (superfosfato triple), MF (Monte Fresco), RIO (Riecito), DICAL (Fosfato dicálcico).

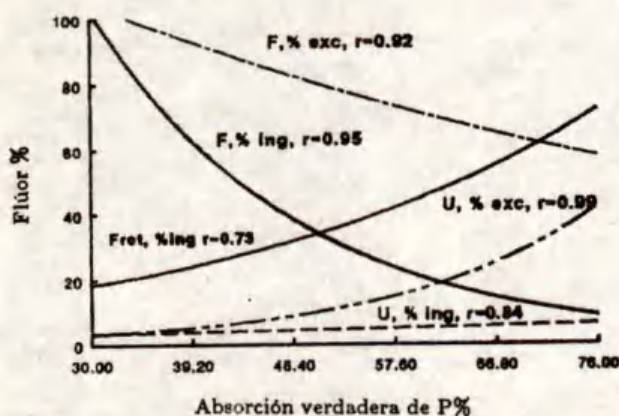


Figura 6. Absorción de fósforo y retención y excreción de flúor.

### CONCLUSIONES

Los valores de EU y AV del fósforo obtenidos en este estudio para el SFT y DICAL reflejan la elevada tasa de absorción de estas fuentes. Estos valores fueron superiores a los de AA para todas las fuentes de fósforo.

La biodisponibilidad relativa del fósforo del fosfato de Riecito indica que tiene potencial para ser utilizado como fuente de fósforo en rumiantes, particularmente en estados fisiológicos menos exigentes y más tolerantes al flúor, tales como novillos en la fase de crecimiento y terminado.

Similares comentarios, en relación con el flúor, son de validez para el SFT. Adicionalmente, los resultados indican que la absorción

del flúor y su retención está directamente relacionada con la biodisponibilidad del fósforo.

### LITERATURA CITADA

- AOAC. Association of Official Analytical Chemist. 1980. Official methods of the analysis of the Association of Official Analytical Chemist, 13 ed., Washington.
- GODOY DE LEON, S. y C.F. CHICCO. 1991. Uso de fosfatos sedimentarios en la alimentación animal. Revista de la Facultad de Agronomía. U.C.V. 17: 281-298.
- HURWITZ, S. 1964. Estimation of net phosphorus utilization by the slope method. J. Nutr. 84: 83-92.
- KLEIBER, M., A.H. SMITH, N.P. RALSTON, and A.L. BLACK. 1951. Radiophosphorus ( $^{32}\text{P}$ ) as tracer for measuring endogenous phosphorus in cow's feces. J. Nutr. 45: 253-263.
- LOFGREEN, G.P. 1960. The availability of the phosphorus in dicalcium phosphate, bone meal, soft phosphate and calcium phytates for mature wethers. J. Nutr. 70: 58-62.
- PERKINSON, J.D., I.B. WHITNEY, R.A. MONROE, W.E. LOTZ, and C.L. COMAR. 1955. Am. J. Physiol. 182: 383.
- REID, R.L. 1980. Relationship between phosphorus nutrition of plants and phosphorus nutrition of animals and man. pp. 847-886. In: F.E. Khasawneh, E.C. Sample, E.J. Kamprath (eds.). The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- SUTTIE, J.W., and E.C. FALTIN. 1973. Effects of sodium fluoride on dairy cattle: Influence of nutritional state. Am. J. Vet. Res. 34:479-483.
- UNDERWOOD, E.J. 1977. Trace elements in human and animal nutrition (4th ed.). Academic Press, London, UK.
- VITTI, D. 1989. Avaliação da disponibilidade biológica do fósforo dos fosfatos bicálcico, Patos de Minas, Tapira e Finos de Tapira para ovinos, pela técnica de diluição isotópica. (Tesis Doctorado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada a Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil.

**DIVISION II**

Investigación Australiana en campo e invernadero,  
con rocas fosfóricas: Historia, explicaciones y  
desarrollos actuales.

**R.J. GILKES y  
M.D.A. BOLLAND**

79

Respuestas agronómicas y alternativas tecnológicas  
en el uso de rocas fosfóricas naturales y modificadas  
en cultivos y suelos de Venezuela.

**EDUARDO CASANOVA OLIVO**

106

Fertilización fosfórica en sistemas con bajos  
insumos en los trópicos húmedos del Perú.

**JULIO C. ALEGRE ORIHUELA,  
MWENJA GICHURU y  
PEDRO A. SANCHEZ**

117

Absorción del fósforo y del flúor de diferentes  
fosfatos en rumiantes.

**S. GODOY DE LEON y C.F. CHICCO**

125