

---

# PROCESOS DE ACIDULACIÓN PARCIAL Y CALCINACIÓN DE LA ROCA FOSFÓRICA DEL HUILA PARA NUEVOS PRODUCTOS FERTILIZANTES<sup>3</sup>

Armando Torrente Trujillo  
*Profesor Titular Universidad Surcolombiana*  
armando.torrente@gmail.com

Víctor Hugo Pérez Gómez  
*Universidad Surcolombiana*  
rotciv05@gmail.com

Anderson Medina Dussán  
*Universidad Surcolombiana*  
andermed16@gmail.com; andermed@outlook.com

César Hernando Bolívar Herrera  
*Universidad Surcolombiana*  
cesarhernandobolivar@gmail.com,

Edgar Montealegre Cárdenas  
*Universidad Surcolombiana*  
ingemco@hotmail.com,

Grupo de Investigación Hidroingeniería y Desarrollo Agropecuario (GHIDA)

**Resumen:** El propósito de la presente investigación fue la obtención de nuevos productos con mayor disponibilidad de fósforo como fertilizantes mediante procesos de acidulación parcial y calcinación de la roca fosfórica de la mina Media Luna en el departamento del Huila, para lo cual se realizan distintas pruebas experimentales. Las variables del diseño experimental para el proceso de acidulación parcial de la roca fosfórica fueron: grado de acidulación, tamaño de grano y tiempo de reacción. En el proceso de calcinación para la fusión de la roca fosfórica, se utilizó como variante un fundente (serpentina) a temperatura de 1200 °C. Los resultados de caracterización muestran que los contenidos de fósforo total, asimilable y soluble de la roca fosfórica, presentan coeficientes de variación del 5.41 %, 13.04 % y 42.58 % respectivamente, explicados por la alta heterogeneidad del material extraído en la mina y su manejo. Los productos de roca fosfórica con mayor contenido de fósforo asimilable seleccionados fueron los tratados con acidulación parcial al 40 % de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con fracciones que

**Palabras clave:** Roca fosfórica, procesos de la roca fosfórica, fósforo natural.

---

3. El presente artículo es producto de una investigación en curso. Se publica en el marco del plan de transferencia al SENA incorporado en el convenio 003 de 2014 entre la Universidad Surcolombiana e Infihuil (Corredor Tecnológico del Huila), con el objeto de ejecutar el proyecto de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación SIGP No. 17733 denominado "Aprovechamiento de los recursos minerales calcáreos y fosforitas del departamento del Huila en el desarrollo de nuevos insumos para la agricultura". El proyecto, en ejecución, inició el 26 de septiembre de 2014 y finalizará el 25 de marzo de 2016. Es financiado con recursos de regalías de la gobernación del Huila, del SENA y la empresa privada, y ejecutados por la Universidad Surcolombiana.

pasan por malla 100 y cuya reacción tiene duración de 20 minutos, obteniéndose así la máxima solubilidad. El tiempo de reacción del proceso de acidulación no tuvo efecto relacionado con el contenido de fósforo asimilable. Los tratamientos de calcinación de la roca fosfórica, sin y con serpentina, no mostraron diferencia significativa en contenidos de fósforo asimilable.

## PARTIAL ACIDULATION PROCESS AND CALCINATION OF PHOSPHATE ROCK OF HUILA FOR NEW FERTILIZING PRODUCTS

**Abstract:** This research aimed at the development of new products with higher availability of phosphorus as a fertilizer through partial acidulation processes and calcination of phosphate rock from the mine Media Luna in the department of Huila, hence different experimental tests are performed. The variables in the experimental design for the process of partial acidulation of the phosphate rock were: degree of acidulation, rock particle size and reaction time. In the process of calcination for the fusion of the phosphorus rock, a flux variant (serpentine) was used at a temperature of 1200<sup>o</sup>C. The characterization results show that the contents of total assimilated and soluble phosphorus of the phosphate rock have variation coefficients of 5.41%, 13.04% and 42.58% respectively due to the high heterogeneity of the material extracted in the mine and its management. The products of phosphate rock with a higher content of phosphorus that can be assimilated were treated with partial acidulation to 40% with sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) with fractions that pass through a 100-mesh sieve and whose reaction lasts 20 minutes, thereby obtaining the maximum solubility. The reaction time of the acidulation process had no effect related to the content of phosphorus that was able to be assimilated. Calcination treatments of phosphate rock with and without serpentine, showed no significant difference in content of phosphorus that was able to be assimilated.

**Keywords:** Phosphate rock, processes phosphate rock, natural phosphorus.

## Introducción

El compuesto de fósforo en las rocas es una forma del mineral apatita y dependiendo de su origen e historia geológica, las apatitas pueden tener características físicas, químicas y cristalográficas distintas (Chien, 2003). Los factores que influyen en la efectividad de la roca fosfórica para su uso en fertilizantes son: su reactividad, las propiedades del suelo, las condiciones climáticas, las especies que se cultivarán y las prácticas de cultivo (Chien & Menon, 1995), (IFA, 1998). La efectividad agrícola de la roca fosfórica se incrementa en cuanto aumente la sustitución de carbonatos por fosfatos en el cristal de apatita y el tamaño de la partícula (menos de 0.15 mm) (Solórzano, 1993), (Fernández & Meza, 2004). La roca fosfórica es un fertilizante natural, que presenta una adecuada relación

de precios por unidad de nutriente, pero de menor concentración y más lenta solubilidad que los fertilizantes industriales. En suelos ácidos, mantiene una progresiva solubilización a través del tiempo que posibilita un aporte de fósforo similar a las fuentes más solubles (FAO, 2007).

Muchos depósitos de roca fosfórica se encuentran en los trópicos y los subtrópicos y no han sido explotados. Una razón es que estos yacimientos no cumplen los estándares para la producción de fertilizantes basados en fósforo, solubles en agua utilizando tecnología convencional. Otra razón es que los depósitos son muy pequeños para sustentar la inversión requerida para su explotación y proceso industrial ( Ivanova & Bojinova , 2006), (Rodríguez & Herrera, 2002), (Pérez et al., 1995).

La llamada roca fosfórica comercializada en Colombia, contiene alrededor del 30 % de  $P_2O_5$  y es la fuente de fósforo más utilizada para la fabricación de fertilizantes agrícolas. Estos consisten básicamente en una mezcla de compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), elementos considerados como los macronutrientes básicos de las plantas. También contienen proporciones menores de otros elementos considerados todos como micronutrientes, o por lo menos la mayoría de los insumos utilizados en la producción de fertilizantes son de origen mineral (Alvarado & Barreto, 2005).

En Colombia se encuentran niveles de fosfáticos en formaciones arenosas del Cretáceo Superior de la Cordillera Oriental, los cuales se han configurado como yacimientos en varios lugares de esta cordillera. Algunos de estos yacimientos fueron parcialmente explorados por INGEOMINAS en los primeros años de la década del 60. Según esta entidad, el espesor de los niveles mineralizados varía entre 0,5 a 5,4 m y los tenores de  $P_2O_5$  oscilan entre 10 y 37 %. Actualmente se explota la roca fosfórica en 15 áreas localizadas en los departamentos de Boyacá, Norte de Santander y Huila (Unión Temporal Gi.Georecursos, 2005).

Por su parte, las principales empresas productoras de este material son Fosfatos de Boyacá S.A, localizada en el departamento de Boyacá; FOSFONORTE S.A, localizada en Norte de Santander; y FERTIPAEZ, S.A., Productos Químicos Panamericanos, S.A. y Fosfatos del Huila S.A, localizadas en el departamento del Huila. La producción colombiana de roca fosfórica no alcanza a satisfacer la demanda interna, por lo cual se importa anualmente un importante volumen de compuestos de fósforo (Unión Temporal Gi.Georecursos, 2005).

En Colombia existen varias empresas, grandes y pequeñas, que producen el fertilizante para el mercado interno y algunas para el externo. Su producción industrial incluye, además de fertilizantes complejos NPK enriquecidos con elementos menores y secundarios, algunas materias primas intermedias obtenidas a partir de la roca fosfórica, tales como el ácido fosfórico y el fosfato de amonio. Otras, generalmente pequeñas, se ocupan de procesar la roca fosfórica y otros minerales para su aplicación directa en agricultura.

El propósito de la investigación es realizar pruebas de calcinación y acidulación parcial de la roca fosfórica en busca de obtener mayor concentración y disponibilidad de fósforo para su aprovechamiento como fertilizante natural en la producción agrícola.

## Metodología

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Suelos de la Universidad Surcolombiana de Neiva, tomando muestras varias en la mina Media Luna localizada en la vía a Praga y en la Planta Industrial de Bambucá en el municipio de Aipe, departamento del Huila.

### **Caracterización físico-química de la roca fosfórica:**

Se realizó a través de muestras tomadas de la Planta Bambucá en el municipio de Aipe, departamento del Huila, propiedad de la Empresa Fosfatos del Huila S.A., durante diferentes etapas del proceso de molienda, utilizando métodos de calcinación y acidulación parcial.

**Pruebas de calcinación:** Se realizaron pruebas de calcinación en mufla a 1200 °C durante 45 minutos, con muestras de 10 gramos de roca fosfórica molida dispuesta sobre crisoles de porcelana. Además, se hicieron pruebas de calcinación con gas propano en cucharas de arcilla especiales para fundición durante 20 minutos hasta alcanzar temperatura de 1300 °C.

**Pruebas de acidulación parcial:** Se mezclaron 870 g de roca fosfórica (contenido de  $P_2O_5$  de 28.5 %), 220 g de ácido sulfúrico al 98 % y 350 cm<sup>3</sup> de agua, durante un tiempo de proceso de 40 minutos, de los cuales 20 minutos se dedicaron a la mezcla de la fosforita (roca fosfórica molida) y agua, y el tiempo restante en reacción con el ácido sulfúrico. Después de este periodo, se descargó el material sobre una superficie hasta finalizar su reacción, evidenciándose la presencia de gases. Luego de 12 horas del vaciado, el material se hallaba con humedad en el rango del 4 al 10 %, situación que condujo a la homogenización para el secado uniforme. Con el fin de acelerar el proceso, se sometió a un horno de secado con aireación por convección durante 24 horas a temperatura constante de 105 °C y posteriormente se redujo el tamaño del material acidulado hasta pasar el 100 % por malla 4 y se colectó la fracción retenida en malla 10 para su empaque y exhibición como primer producto del ensayo.

El producto obtenido es similar a los existentes en el mercado como son el Calfos y la Fosforita. Con esta experiencia se logró un fertilizante en estructura granular, mostrando la susceptibilidad de obtener un material con buena presentación y calidad para el mercado. El pH de la fosforita se evaluó para diferentes relaciones roca-agua destilada con valores que variaron entre 6.0 y 7.0.

Se cuantificó la concentración de fósforo en sus tres formas comunes: total, soluble y asimilable para un total de 181 lecturas en el espectrofotómetro UV. A los tratamientos con acidulación parcial de la roca fosfórica, se realizaron 86 análisis de la concentración de fósforo en sus tres formas y 143 análisis de los elementos calcio, magnesio, potasio y sodio durante el proceso de caracterización de la roca fosfórica del Huila.

Las variables del diseño experimental para acidulación parcial de la roca fosfórica fueron: (a) grado de acidulación, (b) tamaño de grano y (c) tiempo de reacción. Para su codificación y análisis se usó el sistema tradicional, según el diseño experimental 2<sup>3</sup>, donde dos (2) es el número de niveles que toma la variable y tres (3) el número de variables a tratar, las diferentes combinaciones de tratamientos, ocho (8) en total, se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Tratamientos de acidulación parcial**

(1)	A, B, C; están en el nivel bajo
a	A está en el nivel alto B y C en el nivel bajo
b	B está en el nivel alto A y C en el nivel bajo
ab	A y B están en el nivel alto y C en el nivel bajo
c	C está en el nivel alto A y B en el nivel bajo
ac	A y C están en el nivel alto y B en el nivel bajo
bc	B y C están en el nivel alto y A en el nivel bajo
abc	A, B y C están en el nivel alto

Fuente: Elaboración propia.

Los dos (2) niveles que toman cada una de las variables (alto y bajo), se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Tratamientos de la roca fosfórica en acidulación parcial con diversos tamaños y tiempos de reacción**

Acidulación (%)	20 min		40 min	
	malla 20	malla 100	malla 20	malla 100
20	(1)	b	c	bc
40	a	ab	ac	abc

Fuente: Elaboración propia.

## Resultados y discusión

De manera general, los resultados de la tabla 4 muestran variaciones relativas en los elementos químicos contenidos en la roca fosfórica dependiendo de su procedencia, bien sea de la mina Media Luna (rajón) o de la Planta Bambucá (fosforita). De la roca fosfórica procedente de la mina hacia la Planta, se aprecia la disminución de los elementos calcio (6 %) y fósforo (7 %). Igualmente se presenta incremento de los silicatos (13 %), aluminio (0.68 %), hierro (0.41 %), magnesio (0.035 %) y potasio (0.07 %), mientras el sodio permanece constante. Así mismo incrementan las pérdidas de masa por calcinación a 1000 °C (1.3 %).

Se hace claridad de que la denominación de fosforita corresponde a la roca fosfórica molida industrialmente para la posterior comercialización.

Los contenidos de sodio registran el mismo nivel para todas las muestras. El contenido de potasio en los análisis muestra un incremento del 0.07 % en la concentración de este elemento, en el tránsito de la mina a la Planta industrial de fosfatos. Se aprecian diferencias estadísticas significativas al 5 % entre los contenidos químicos de la roca fosfórica según su origen (mina y Planta) a excepción del contenido de sodio (Na).

El contenido de humedad de la roca fosfórica después de someterse a la estufa de secado a temperatura constante de 105 °C durante 24 horas, osciló entre 2.6 y 7 %, con un promedio de 5.1 %. Esta corresponde a la humedad de equilibrio con el ambiente en condiciones

**Tabla 3. Elementos químicos (%) contenidos en la roca fosfórica rajón y fosforita**

Origen de la roca fosfórica	Ca	SiO <sub>2</sub>	Al	Fe	Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na	K	H	Pérdidas por calcinación
Mina (rajón)	44	12	0.42	0.39	0.065	34.5	0.13	0.06	0.9	2.7
Planta (fosforita)	38	25	1.10	0.80	0.100	27.5	0.13	0.13	0.7	4.0
Diferencia	- 6	+ 13	+ 0.68	+ 0.41	+ 0.035	- 7	0	+ 0.07	-0.2	+ 1.3

Fuente: Elaboración propia.

del Laboratorio de Suelos (temperatura ambiente de 27 °C y humedad relativa ambiental del 70 %).

Se observó que a medida que la relación agua-suelo fue menor, el pH se hizo creciente en la franja alcalina. Esto demuestra que el agua utilizada afectó la roca fosfórica, produciendo reacciones químicas en su interior asociadas a la disolución de calcio. Los ensayos adelantados de solubilidad muestran un valor bajo para la fosforita, siendo en promedio de 0.047 % (fosforita en agua a 25 °C).

**Proceso de calcinación de la roca fosfórica:** La calcinación es un proceso alternativo en la producción de un fertilizante con alto contenido de fósforo asimilable (alrededor del 18 % como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Sin embargo, para alcanzar este grado de asimilación es necesario llevar las materias primas (roca fosfórica y/o fundentes) a temperaturas superiores a 1400 °C (Chien & Menon, 1995). La investigación se propuso alcanzar la fusión de la roca fosfórica utilizando como fundente serpentina, ya que la temperatura de fusión de la roca fosfórica pura está alrededor de 1400 °C.

Se procesaron 12 muestras de roca fosfórica con tratamientos de calcinación con fundente (serpentina) y sin fundente. Con el fin de conocer las condiciones de operación de las muflas, se realizaron las curvas de calentamiento para los ensayos (Tabla 4). El resultado del tratamiento por calcinación contrasta con el fósforo asimilable de la roca fosfórica tratada con acidulación parcial y no se observa diferencia significativa respecto al fósforo asimilable de la roca fosfórica (P ≥ 95 %).

**Tabla 4. Caracterización de la roca fosfórica molida (fosforita)**

CARACTERÍSTICA	RESULTADO	COMPOSICIÓN	RESULTADO (%)
Color (Munsell)	Pardo pálido (10YR6/3)	Fósforo total	23 a 30.2
Humedad	2.6 - 7 %	Fósforo asimilable	7.3 a 14.7
Densidad	1.3 a 1.6 g/cm <sup>3</sup>	Fósforo soluble	10
Coefficiente de Uniformidad	Cu = 22.72	Calcio (CaO)	37.86
Coefficiente de gradación	Cg = 0.305	Magnesio (MgO)	0.10
Consistencia	No plástico	Potasio (K <sub>2</sub> O)	0.04
Compactación	2.8 g.cm <sup>-3</sup>	Sodio (Na <sub>2</sub> O)	0.016
PH	7.0 (Neutro)	Sílice	24.08
Salinidad	Baja	Flúor	3.99
Solubilidad	Baja	Azufre	0.14
Reactividad	Lenta	Aluminio	1.05
		Hierro	5.50

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del proceso de calcinación fueron los siguientes: reducción del peso total con variación entre 6.0 y 8.6 %; adherencia de la roca fosfórica al fondo del recipiente, haciendo difícil la extracción del material calcinado y se alcanzó el punto de mineralización de la roca hasta obtener formas minerales simples (Tabla 5).

La roca fosfórica se debe someter a temperatura superior a las probadas (870 a 1300 °C), ya que los mayores niveles de fósforo asimilable se esperan a temperaturas superiores (Fernández & Noguera, 2003).

**Tabla 5. Fósforo en los tratamientos de calcinación de la roca fosfórica**

Muestra	Fósforo asimilable (%)	Tratamiento
C2	5,42	800 °C Serpentina 1.5 % sin apagado
C3	8,02	800 °C sin apagado
C4	10,84	Doblado en Rea 870 °C 10 % apagado
C5	9,04	870 °C 20 % apagado
C6	7,57	870 °C 40 % sin apagado
C7	5,76	870 °C 40 % serpentina apagado
C8	7,50	870 °C 20 % serpentina apagado
C9	8,42	870 °C 10 % serpentina apagada
C10	7,63	Rajón 1278 °C, sin apagado
P2	5,64	Rajón 1278 °C, sin apagado
P3	11,63	1300 °C gas sin apagado
RA	7,48	Fósforo asimilable en fosforita sin tratar
RB	8,21	Fósforo asimilable en fosforita sin tratar
RC	7,80	Fósforo asimilable en fosforita sin tratar
FF1	8,37	Fosforita y serpentina 5 % fundida la mezcla y apagada
FF2	5,90	Fosforita y serpentina 10 % fundida la mezcla y apagada
FF3	5,60	Fosforita y serpentina 10 % fundida la mezcla y apagada
FF4	6,59	Fosforita y dolomita 20 % fundida la mezcla y apagada
FF5	7,33	Fosforita fundida y apagada

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se presenta el porcentaje de fósforo soluble, fósforo asimilable y fósforo total en los distintos tratamientos codificados mediante procesos de acidulación parcial de la roca fosfórica del Huila como se planteó en el Cuadro 3, teniendo como factores: (a) el grado de acidulación, (b) el tamaño de grano (número de malla) y (c) el tiempo de reacción. El porcentaje de fósforo asimilable para los distintos tratamientos de acidulación parcial incluyendo los tres factores mencionados varió entre 9.73 y 14.66, la fracción de fósforo soluble resultó muy baja, variando entre 1.51 y 6.72 %, mientras que el porcentaje de fósforo total varió entre 22.11 y 25.83 %.

La fracción de fósforo soluble con relación al fósforo total presentó variación entre el 8 y el 26 %, mientras que la fracción de fósforo asimilable con relación al fósforo total presentó variación entre el 44 y el 57 %.

**Tabla 6. Fósforo en los tratamientos de acidulación parcial de la roca fosfórica**

Tratamiento codificado	% Fósforo								
	Soluble			Asimilable			Total		
	R I	R II	R III	R I	R II	R III	R I	R II	R III
(1)	1,79	1,67	1,51	10,66	10,99	11,58	25,51	25,43	25,13
a	6,16	6,42	5,99	12,36	11,28	10,90	23,09	22,86	22,99
b	3,11	2,85	2,91	14,66	13,32	12,82	25,83	25,58	25,15
ab	6,72	6,61	6,54	14,17	14,04	13,92	22,47	21,99	22,11
c	2,80	2,65	3,04	12,46	12,20	13,41	24,06	24,37	24,12
ac	4,99	5,28	4,98	10,07	9,76	9,73	22,75	22,39	22,46
bc	2,79	2,82	2,59	14,19	14,23	13,93	24,38	24,44	24,17
abc	5,80	5,30	5,31	14,75	14,10	14,03	22,88	22,22	22,37

(a) % Acidulación, (b) Tamaño de Partícula, (c) Tiempo de reacción.  
Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos de acidulación parcial de la roca fosfórica del Huila con mayor expresión en porcentaje de fósforo asimilable corresponden a los tratamientos b, ab, bc y abc cuyos promedios son 13.60 %, 14.04 %, 14.20 % y 14.29 % respectivamente, presentando rendimientos significativos superiores a un nivel de significancia del 0.05, con relación al resto de los tratamientos puestos a prueba.

La mayor fracción de fósforo asimilable en promedio es la correspondiente al tratamiento abc (40 %, malla 100, 40'), lo que significa un grado de acidulación parcial con ácido sulfúrico de 40 %, tamaño de grano que pasa por malla 100 y 40 minutos de reacción; sin embargo, desde el punto de vista técnico-económico presenta mayor ventaja el tratamiento bc (20 %, malla 100, 40') es decir, grado de acidulación parcial con ácido sulfúrico del 20 %, tamaño de grano que pasa por malla 100 y 40 minutos de duración en la reacción de mezcla.

Con relación al fósforo total dado en porcentaje, los tratamientos de mayor concentración correspondieron a (1) (20 %, malla 20, 20') y (b) (20 %, malla 100 y 20'). Obsérvese que el tratamiento bc presenta altos niveles correspondientes de fósforo total y asimilable, ratificando su bondad técnico-económica para la obtención de fuentes de fósforo aprovechable para las plantas.

## Conclusiones

La adición de fundentes a la roca fosfórica en el proceso de calcinación, aumenta el contenido de fósforo asimilable en el producto final. Para obtener mayores niveles en cuanto a contenidos de fósforo asimilable, se requiere un mayor grado de temperatura y evaluar la conveniencia agronómica de introducir fundentes.

- Se debe alcanzar la fusión total de la roca fosfórica y proceder con el inmediato apagado utilizando agua.
  - Los contenidos de fósforo total, asimilable y soluble de la fosforita procedente de la mina y de la Planta de Fosfatos del Huila S.A., son muy variables, esto se explica por la alta heterogeneidad de las materias primas procedentes de la explotación de la roca fosfórica.
  - Los productos de la roca fosfórica con mayor contenido de fósforo asimilable son los procedentes de acidulación parcial con fosforita molida en malla 100.
  - El contenido máximo de fósforo soluble se obtiene con el mayor nivel de acidulación parcial de la roca fosfórica.
  - Los tratamientos de calcinación de la roca fosfórica sin y con serpentina, no mostraron diferencia significativa en contenidos de fósforo asimilable.
- El tiempo de reacción del proceso de acidulación no tiene efecto en el contenido de fósforo asimilable. Se debe estudiar su influencia en las características físicas del producto final, especialmente la viscosidad de la masa (relacionada con la cantidad de agua en la reacción).

## Bibliografía

- Ivanova, R. P., & Bojinova, D. Y. (2006). The Solubilization of Rock Phosphate by Organic Acids. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon*, 181:2541–2554. Kucey R.M.N.
- Alvarado, L., & Barreto, R. (2005). *Minerales Naturales utilizados en Colombia como fuentes en fertilizantes o enmiendas de suelo*. Brasil.: CYTED.
- Chien, S. H. (2003). Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *In direct application of phosphate rock and related technology: latest development and practical experiences*, (S.S.S. Rajan and S.H. Chien, ed.). *Special Publications IFDCSP- 37, IFDC, Muscle Shoals, Alabama.*, pp.50-62.
- Chien, S. H., & Menon, R. G. (1995). Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Research*, 227 - 234.
- FAO. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. ISBN, 9789253050307. Job Number, Y5053/S., Número en series, 13 Boletines. Series No.150 Rome. .
- Fernández, S. M., & Meza, C. A. (2004). Efecto residual de la roca fosfórica de Riecito modificada por calcinación o acidulación sobre plantas de maíz en suelos con nivel variable de calcio. *Bioagro 16(2)*, 93-98.
- Fernández, S. M., & Noguera, R. S. (2003). Producción de fosfatos térmicos a partir de rocas fosfóricas nacionales. *Agronomía Tropical 53(1)*, 49-57.
- IFA. (1998). The Fertilizer Industry's manufacturing process and Environmental Issues. *Technical Report*, No. 26 - Part. 1.
- Pérez, M. J., Troung, B., & Fardeau, J. C. (1995). *Solubilidad y eficiencia agronómica de algunas rocas fosfóricas venezolanas (naturales y modificadas) mediante el uso de técnicas isotópicas*. Venezuela.

Rodriguez, R., & Herrera, J. (2002). Field evaluation of partially acidulated phosphate rocks in a ferrasols from Cuba. *Nut. Cyc. Agroecosys.* 63 (1), 43 – 48.

Solorzano, P. R. (1993). Evaluación de Roca Fosfórica Natural y Compactada en Diversos Sistemas Sue-

lo-planta en Venezuela. *Venesuelos*, Vol. 1, núm. 1.

Unión Temporal Gi.Georecursos. (2005). *Análisis de la estructura productiva y mercados de la roca fosfórica*. Bogotá, D.C. : Informe final contrato 1517-08-2005. 123p.

