

# Efecto de la roca fosfórica parcialmente acidulada y calcinada en la producción de maíz

## Effect of partially acidified and kilned phosphoric rock in corn production

DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.115>

Recibido: 12-08-2014 Aceptado: 17-11-2014

Armando Torrente Trujillo<sup>1</sup>

### Resumen

Se evaluó el efecto de la roca fosfórica (RF) de la mina Media Luna - Huila y los productos de los procesos de acidulación y calcinación, como fuentes de fósforo aprovechable sobre la producción de maíz variedad ICA V-305, y su asimilación en el sistema suelo-planta. Las unidades experimentales se constituyeron con mezcla de suelo arenoso franco, 15% compost de porquinaza y 10% de cascarilla de arroz, distribuidas en tratamientos así: T1 - sin fósforo, T2 - 100 g/planta de Fosforita-30P, T3 - 100 g/planta de RF parcialmente acidulada malla 20, T4 - 100 g/planta de RF parcialmente acidulada malla 100, T5 - 100 g/planta de RF calcinada, T6 - 100 g/planta de RF calcinada con serpentina y T7 - 100 g/planta de DAP. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con 7 tratamientos y 9 repeticiones cuyas variables de respuesta fueron: rendimiento de materia seca (MS), altura de plantas (AP), diámetro medio de tallo (DT), contenido de fósforo en tejido foliar de maíz (CFM) y contenido de fósforo en el suelo (CFS). Las mejores características morfológicas y desarrollo vegetativo en maíz, se presentaron con Fosforita-30P y RF parcialmente acidulada, los mayores rendimientos en cosecha se dieron con RF parcialmente acidulada malla 100 y DAP con promedio de 7.8 ton/ha y sin diferencias significativas al 5%. Se observaron rendimientos menores y diferencias significativas con aplicación de Fosforita 30P, roca fosfórica calcinada y el testigo.

**Palabras clave:** Roca fosfórica, fertilización fosfatada, acidulación y calcinación de roca fosfórica, Fosforita Huila.

<sup>1</sup> Colombiano. Ph.D. Profesor Titular Universidad Surcolombiana - Neiva. armator@usco.edu.co, armando.torrente@gmail.com Grupo de Investigación Hidroingeniería y Desarrollo Agropecuario - GHIDA.

## Abstract

The effect of phosphoric rock (RF) from the Media Luna mine in Huila and the products of the processes of acidification and kilning, as sources of readily available phosphorus on the production of the corn variety ICA-V305, and its assimilation by the plant-soil system. The experimental units were constituted by sandy soil mix, 15% pig manure compost, 10% rice husk, distributed in treatments like this: T1, no phosphorus, T2, 100 g/plant of 30P-Phosphorite, T3, 100 g/plant of partially acidified RF 20 mesh, T4, 100g/plant of partially acidified RF 100 mesh, T5, 100g/plant of kilned RF, T6, 100g/plant of kilned RF with serpentine and T7, 100g/plant of DAP. An experimental design was applied totally at random with 7 different treatments and 9 iterations whose response variables were: dry matter yield (MS), plant height (AP), median stalk diameter (DT), phosphor content in foliage corn tissue (CFM) and ground phosphor content (CFS). The best morphological features and vegetative development in corn were achieved with 30P-phosphorite and partially acidified RF, the best yields at harvest season were obtained with partially acidified 100-mesh RF and DAP with an average of 7.8 metric tons per hectare, without significant differences at 5%. Lesser yields were registered and significant differences with the usage of 30P-phosphorite, kilned phosphoric rock and the reference sample.

**Keywords:** Phosphoric Rock, Phosphated Fertilization, Acidification And Kilning Of Phosphoric Rock, Phosphorite Huila

## Introducción

La disponibilidad de fósforo en el sistema suelo-planta juega un papel fundamental en su productividad, dado que la deficiencia de este elemento determina la reducción en el crecimiento y la calidad del forraje y de las gramíneas (Benavidez *et al.*, 2000). Los fertilizantes fosfatados representan una opción para incorporar fósforo al sistema, ya que éste sirve para reemplazar en el suelo el fósforo exportado en la cosecha y para mejorar la fertilidad de los suelos deficientes en este elemento (Fixen, 2003).

Una alternativa a los problemas de alta fijación de fósforo en suelos ácidos y a los elevados costos de los fertilizantes solubles, es la utilización de rocas fosfóricas (RF) en combinación con sustancias acidificantes como el  $H_2SO_4$ , que mejora la disponibilidad de P en las rocas (Baquero *et al.*, 1990); (López, 1994), mostrando de esta manera que una acidulación parcial de las rocas fosfóricas puede ofrecer inicialmente fósforo soluble y mantener también sus características de bajo costo y lento suministro, pues el fósforo de la

roca fosfórica parcialmente acidulada soluble en agua estimula el crecimiento de las plantas (Chien and Hammond 1989); (Pérez *et al.*, 1995); Truong y Zapata, F. (2002); (Méndez, 1984); (Zapata y Zaharah 2002); sin embargo, es necesario tener en cuenta que la eficiencia de las rocas fosfóricas también está determinada por otros factores como son el contenido de  $CaCO_3$  presente en la apatita, el tamaño de las partículas y de los agregados del suelo entre otros (Chien y Friesen, 2000). El objetivo es evaluar el efecto de la fertilización con productos obtenidos de acidulación parcial y calcinación de la roca fosfórica de la mina Media Luna (Huila).

## Materiales y métodos

**Localización.** La investigación se realizó en el municipio de Palermo - Huila, a 2°55' 58.2" N y 75°20' 24.8" W y 496 msnm cuyo clima es cálido seco. Se mezcló suelo arenoso franco con 15% de compost de porquinaza y 10% de cascarilla de arroz. El análisis químico del suelo con la incorporación orgánica mencionada, se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis químico del suelo

pH	MO	S	CIC	Ca	Mg	K	Na	P	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	%		Cmol+.kg-1					ppm					
6.35	2.62	4.59	6.10	3.32	1.99	0.02	0.04	34.91	68.36	2.45	3.57	19.64	0.23

Fuente: Autor

**Diseño experimental.** La unidad experimental corresponde a plantas de maíz variedad ICA 305, dispuestas en un diseño completamente al azar (DCA), explicadas en el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = u + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  es la variable de respuesta correspondiente a tratamientos de fósforo  $i$ , repetición  $j$ ;

$u$  es la media general de los tratamientos;

$t_i$  es el efecto de tratamientos  $i$  (fuentes de fósforo) y

$\varepsilon_{ij}$  es el error experimental debido al tratamiento  $i$ , repetición  $j$ .

Los tratamientos fueron:

- T1 - sin fósforo,
- T2 - 100 g/planta Fosforita-30P,
- T3 - 100 g/planta de roca fosfórica parcialmente acidulada malla 20,
- T4 - 100 g/planta de roca fosfórica parcialmente acidulada malla 100,
- T5 - 100 g/planta de roca fosfórica calcinada,
- T6 - 100 g/planta de roca fosfórica calcinada con serpentina y
- T7 - 100 g/planta de DAP.

Se comparó la aplicación de distintas fuentes de fósforo con una misma dosificación (100 g/planta), excepto el control. Al inicio del experimento se hizo el control de fertilización con urea (N 46%), sulcamag (P 3%, CaO 25%, MgO 13% y S 8%) y cloruro de Potasio (60% K<sub>2</sub>O y 47% Cl) en igual dosis de 50 g/planta, a todos los tratamientos, incluyendo el control.

El área experimental se compuso de 63 plantas con distribución completamente al azar con 7 tratamientos y 9 repeticiones. Las variables de respuesta experimental evaluadas fueron:

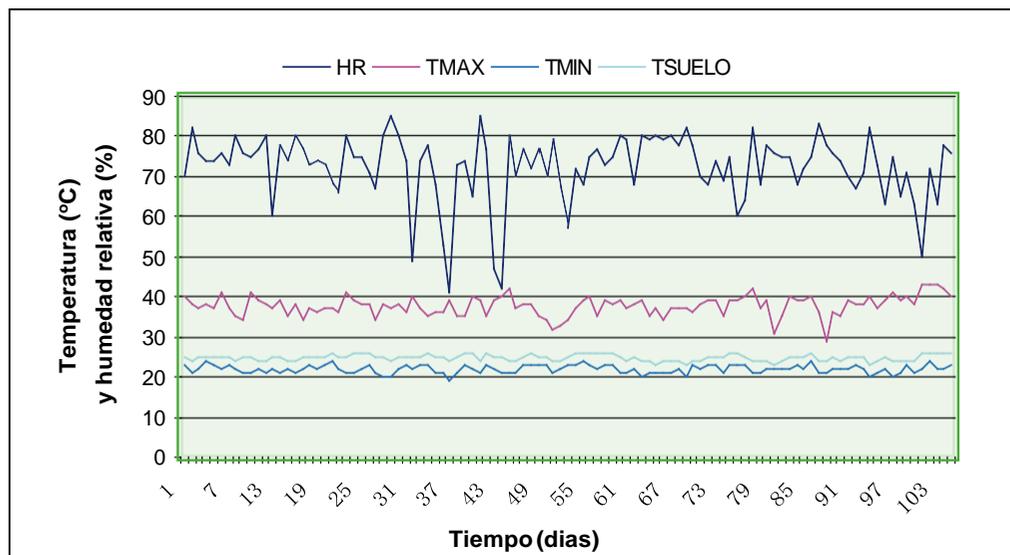
- *Altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT).* En todas las unidades experimentales a los 50 días después de la siembra (dds) se midió: altura de planta (AP) teniendo como referencia la superficie del suelo y el diámetro medio de tallo (DT) de maíz en cm.
- *Materia seca de la biomasa (MS).* Se cortaron las plantas de maíz variedad ICA 305, a los 50 dds, con distancia de un (1) cm sobre la superficie del suelo para medir el peso húmedo, y posteriormente se colocó a la estufa a 70°C por 24 horas para obtener el peso seco.
- *Contenido de fósforo en maíz (CFM).* Se determinó en cinco repeticiones el total de los tratamientos de maíz, tomando submuestras foliares a partir de la materia seca tamizada y molida finamente en mortero, para el análisis de fósforo en el espectrofotómetro de absorción atómica – Perkin Elmer.
- *Contenido de fósforo del suelo (CFS).* Al final del proceso se midió el fósforo disponible por el método de Bray II según la Norma Técnica Colombiana (NTC 5350), en una muestra representativa tomada del suelo en cada unidad experimental correspondiente a 5 repeticiones y 7 tratamientos.
- *Rendimiento de maíz (RM).* A los 105 días se cosecharon las mazorcas y se midió su peso en gramos por planta, se estimaron los rendimientos en ton/ha.
- *Características climáticas.* El clima del sitio experimental es cálido seco, con temperatura media de 27°C y humedad relativa media de 72%. La temperatura diaria del aire fluctuó

entre 19 y 43 °C con importantes efectos sobre la evapotranspiración del cultivo durante el periodo vegetativo. En la Figura 1 se observa la fluctuación del clima en el área, la declinación drástica de la humedad relativa está asociada al incremento de temperatura y determina los periodos de riego para mantener la disponibilidad de agua para las plantas.

- Durante el periodo vegetativo del maíz de 105 días, la precipitación alcanzó los 907 mm con distribución irregular en el tiempo; se presentaron lluvias intensas y periodos cortos

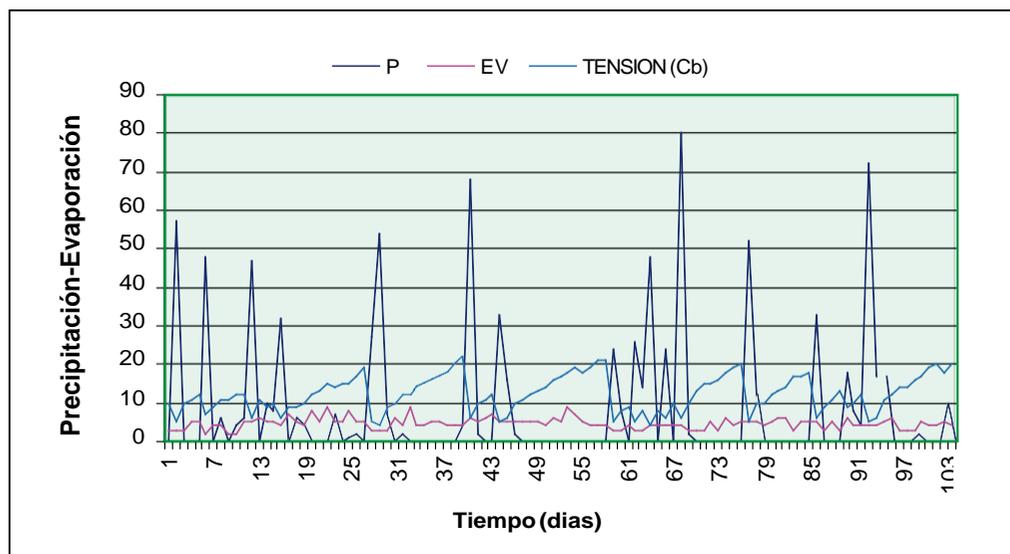
de sequía que determinaron la aplicación de riego suplementario para mantener la humedad del suelo y el normal desarrollo de las plantas. Las frecuentes lluvias durante los primeros 18 días permitieron el establecimiento del cultivo de maíz y el sustento en la fase de plántula. La evaporación fluctuó entre 3 y 8 mm con un valor medio de 4.6 mm/día en el periodo experimental Figura 2.

Se hizo seguimiento a la humedad del suelo, utilizando tensiómetros, la tensión de agua fluctuó entre 4 y 22 centibares durante la experimentación,



**Figura 1.** Climatología durante el periodo experimental

Fuente: Autor



**Figura 2.** Precipitación, evaporación y tensión de agua en el suelo durante el periodo vegetativo del maíz

Fuente: Autor

manteniendo los niveles de humedad adecuado en el ambiente edáfico, siendo favorables en los procesos fisiológicos del maíz. Obsérvese que las caídas de energía del agua en el suelo coinciden con la precipitación ocurrida en el lugar, de tal manera que la retención de humedad contribuye a su disponibilidad para las plantas Figura 2.

## Resultados y discusión

En la altura de plantas se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para AP y materia seca a los 50 dds, al 5% (prueba Tukey) en altura de plantas del tratamiento 7 (DAP) en relación con los demás, teniendo esta menor desarrollo vegetativo. Nótese las respuestas de Fosforita-30P en cuanto altura, diámetro y materia seca considerando los demás tratamientos, siendo favorable tanto

en la estimulación vegetativa del maíz como en producción de biomasa. El DAP no expresa en la presente experimentación los resultados esperados a los 50 dds.

Para el diámetro de tallo (DT), no se presentaron diferencias estadísticas al 5% para la variable diámetro medio de tallos, lo cual evidencia la uniformidad en las plantas para los distintos tratamientos de la variedad ICA V-305, como se observa en la Tabla 2.

Materia seca (MS). Existen diferencias significativas al 5% en el rendimiento de materia seca de maíz. La Fosforita-30P mostró el mayor rendimiento de materia seca (93,9 g) con diferencias significativas respecto a RFC<sub>2</sub>, el Control y DAP según la prueba de Tukey. La menor cantidad de MS ocurrió con la RFC<sub>2</sub> Tabla 2.

**Tabla 2.** ANOVA - variables altura de plantas, diámetro de tallos y materia seca de maíz a los 50 dds

Fuente	SC	Gl	CME	Fc	Ft ( $\alpha=0,05$ )	P
ANOVA Altura de plantas						
Tratamiento	6092	6	1015	5.693	2.27	0.0001
Residual	9988	56	178.4			
Total	16080	62				
ANOVA Diámetro de tallos						
Tratamiento	1.716	6	0.286	1.75	2.27	0.1271
Residual	9.169	56	0.163			
Total	10.88	62				
ANOVA Materia seca						
Tratamiento	17330	6	2888	5.002	2.44	0.0014
Residual	16170	28	577.4			
Total	33500	34				

SC suma de cuadrados, Gl grados de libertad, CME cuadrado medio del error, Fc factor calculado

Ft factor tabulado, P probabilidad.

**Fuente:** Autor

**Distribución del fósforo.** Se observan diferencias significativas tanto en el suelo como en tejidos foliares de maíz para los distintos tratamientos con fuentes de fósforo aplicados edáficamente. Las diferencias significativas son probadas en el análisis de varianza que se muestra en la Tabla 3.

El tratamiento 5 (RFC<sub>1</sub>) registró el mayor nivel de fósforo en el suelo con 74.1 ppm, no existiendo diferencia estadística respecto al tratamiento T6 (RFC<sub>2</sub>). El menor nivel de fósforo en el suelo

corresponde al tratamiento control T1, tratamiento testigo que no se le hicieron aplicaciones de fósforo. Los tratamientos con roca calcinada (T5 y T6) presentan mayor concentración de fósforo en el suelo y diferencias significativas comparadas con el resto de los tratamientos evaluados Tabla 4.

El mayor nivel de fósforo en tejido foliar del maíz (CFM) correspondió al tratamiento 7 - DAP, siendo este significativamente distinto al resto de los tratamientos probados. Los tratamientos 2, 4, 5

**Tabla 3.** ANOVA para las variables fósforo en el suelo y en el tejido foliar de maíz

Fuente	SC	Gl	CME	Fc	Ft ( $\alpha=0,05$ )	P
Fósforo en el suelo (CFS)						
Tratamiento	1441	6	240.1	25.9	2.44	0.0001
Residual	259.6	28	9.273			
Total	1700	34				
Fósforo en el tejido foliar (CFP)						
Tratamiento	1.291	6	0.2152	45.92	2.44	0.001
Residual	0.1312	28	0.004686			
Total	1.422	34				

Fuente: Autor

**Tabla 4** Efecto de fuentes de fósforo sobre las variables del maíz

Tratamiento	Variables medidas en plantas de maíz a los 50 dds					
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Humedad (%)	Materia seca (g/planta)	P Suelo (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Planta (ppm)
T1 – Control	102.44	2.24	79.7	43.3	25.44	0.45
T2- Fosforita 30P	110.67	2.42	68.7	93.9	62.57	0.62
T3 - RFPA <sub>1</sub>	105.44	2.39	70.9	76.7	61.79	0.50
T4 - RFPA <sub>2</sub>	107.56	2.63	85.8	47.8	55.56	0.66
T5 - RFC <sub>1</sub>	101.33	2.53	76.8	48.3	74.10	0.66
T6 - RFC <sub>2</sub>	95.67	2.20	85.0	24.1	69.25	0.70
T7 – DAP	78.78	2.15	81.6	37.1	59.34	1.09
Media	100.27	2.37	78.4	53.0	62.58	0.67

RFPA: Roca fosfórica parcialmente acidulada al 40% (RFPA1 malla 20 y RFPA2 malla 100)

RFC: Roca fosfórica calcinada (sin RFC1 y con serpentina RFC2 al 5%).

Fuente: Autor

y 6 presentan resultados estadísticos similares y con mayor concentración de fósforo foliar que los tratamientos T1 (control) y T3 (RF parcialmente acidulada malla 20), los cuales no se diferencian estadísticamente. Las mejores características morfológicas y desarrollo vegetal se evidenció a los 50 dds en plantas de maíz variedad ICA V-30 (MS) correspondió al T2 (Fosforita-30P), seguido del T3 (RFPA<sub>1</sub>) Tabla 4. Los resultados para la variable altura y diámetro de plantas, humedad y producción de biomasa expresada en materia seca, se muestran en la Tabla 4.

El tratamiento con DAP muestra la mayor absorción de fósforo en tejidos seguido de los tratamientos con RF calcinada. Se reconoció la

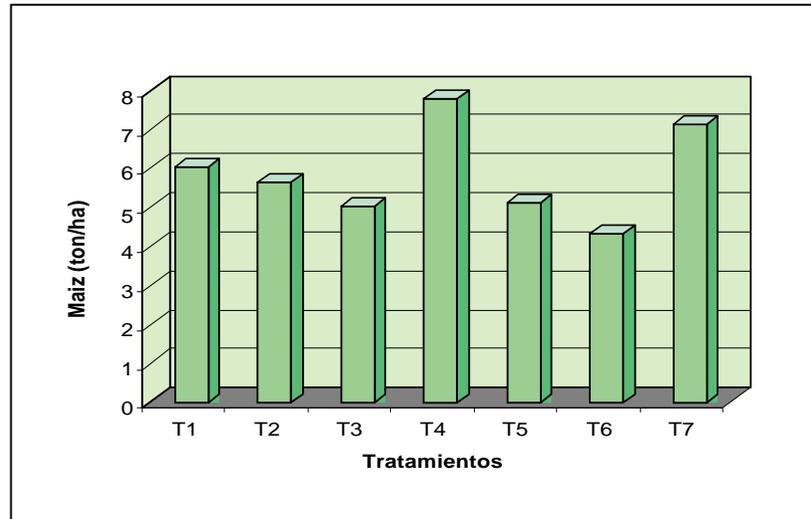
acción de DAP sobre la asimilación de fósforo por las plantas, lo que se corroboró con los resultados de la presente investigación. La respuesta de la RF calcinada se debe posiblemente al alto grado de mineralización que sufre este material cuando se somete a elevadas temperaturas, alcanzando niveles de mayor disponibilidad para las plantas. Los resultados muestran que el fósforo promueve la formación vegetativa de la plantación hasta la etapa de fructificación.

Se observó la efectividad de la Fosforita-30P en el desarrollo vegetativo de la planta, expresando las mejores características en relación con la altura, diámetro y rendimiento de maíz. Los resultados del maíz a los distintos tratamientos aplicados,

permitió observar las diferencias en las variables de respuesta, si se tiene en cuenta las deficiencias iniciales del suelo. En la evaluación final, la mejor respuesta en producción correspondió a la RF parcialmente acidulada malla 100 (T4) con 7.8 ton/ha, seguida de DAP (T7) con 7.0 ton/ha Figura 3.

Los rendimientos de maíz en los tratamientos con roca fosfórica calcinada (T5) y roca

fosfórica calcinada con serpentina al 5% (T6), resultaron con rendimientos bajos de 5 y 4.3 ton/ha respectivamente, significando que estos tratamientos no fueron efectivos en la disponibilidad nutricional del suelo para promover mayores rendimientos en la producción de mazorcas, a pesar de la mayor concentración de fósforo en el suelo en relación con el resto de los tratamientos probados.



**Figura 3.** Rendimiento de maíz con diversos tratamientos de fósforo

**Fuente:** Autor

## Conclusiones

- El mayor rendimiento de maíz se obtuvo con aplicación de roca fosfórica parcialmente acidulada malla 100, alcanzando 7.8 ton/ha, no existe diferencia significativa al 5% respecto al rendimiento de maíz con aplicación de DAP.
- El cultivo de maíz ICA variedad V-305 responde efectivamente a la fertilización con Fosforita-30P, lo cual demuestra la bondad de la utilización como fuente de nutrimentos para las plantas.
- Los pretratamientos de la roca fosfórica, que incluyen procesos de acidulación con ácido sulfúrico y calcinación, más adición de serpentina, no muestran superioridad frente a la aplicación de Fosforita-30P en producción de biomasa y rendimiento a excepción del pretratamiento con roca fosfórica parcialmente acidulada al 40% - malla 100.

- El DAP muestra superioridad en asimilación y reactividad frente a cualquiera de los tratamientos en los que se aplicó roca fosfórica o subproductos de ésta.

## Referencias

- Baquero, J. E., Apolinar, P. y Sánchez L. F. (1990). *Comportamiento de rocas fosfóricas nacionales parcialmente aciduladas en sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) en un inceptisol de los llanos orientales. Suelos Ecuatoriales*, 20(2): 21-29.
- Benavidez, R.A., Boschetti, N.G., Quintero, C.E., Barrera, R., González, A. (2000). *Evaluación de la fertilidad fosfatada de los suelos para los principales cultivos extensivos de Entre Ríos*. Ciencia Docencia y Tecnología 21:221-266.
- Fixen, P. (2003). *Dinámica del fósforo en el suelo y en el cultivo en relación al manejo de los*

- fertilizantes fosfatados*. Recuperado de <http://www.inpofos.org/ppiweb/ltamn.nsf/>.
- Chien, S.H. and Hammond, L.L. (1989). *Agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rock as influenced by soil phosphorus fixing capacity*. Plant and Soil. 120: 159 – 164.
- Chien, S.H. and Friesen, D.K. (2000). *Phosphate fertilizers and management for sustainable crop production in tropical acid soils*. In: IAEA, ed. *Management and conservation of tropical acid soils for sustainable crop production*, pp. 73–89. IAEA-TECDOC-1159. Viena, IAEA.
- López de Rojas, I. (1994). *Fertilización con roca fosfórica para establecimiento del pasto *Andropogon gayanus* en suelos variables en sus propiedades físicas y químicas*. Primer Simposio-Taller “Uso de la Roca Fosfórica Venezolana en Pasturas y Alimentación de Rumiantes”. San Cristóbal, Táchira, 26 al 28 de Octubre 1994.
- Méndez, A.H. (1984). *Respuesta del sistema de cultivo maíz - frijol, a la aplicación de diferentes fuentes de fósforo (P)*. Informe ICA-IFDC. Centro Regional Obonuco. Programa de Suelos.
- 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. *Agronomía Trop.* 45(4):483-505.
- Truong, B. y Zapata, F. (2002). *Standard characterization of phosphate rock samples from the FAO/IAEA phosphate project*. In: IAEA, ed. *Assessment of soil phosphorus status and management of phosphatic fertilizers to optimize crop production*, pp. 9–23. IAEA TECDOC. 1272. Viena, IAEA. 473 pp.
- Zapata, F. y Zaharah, A.R. (2002). Phosphorus availability from phosphate rock and sewage sludge as influenced by the addition of water-soluble phosphate fertilizer. *Nut. Cyc. Agroecosys.*, 63(1): 43–48.