

## **Eficiencia de cuatro especies de *Centrosema* para utilizar fósforo de la roca fosfórica Riecito en suelos con diferentes capacidades de retención de fósforo**

María J. Pérez<sup>1\*</sup>, Maryelin Morillo<sup>2</sup> y Lesly Malpica<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Ceniap. Apartado Postal 4653. Maracay 2105, Aragua. Venezuela. \*Correo electrónico: mjperez@inia.gob.ve

<sup>2</sup>Estudiante de Postgrado Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Aragua. Venezuela.

---

### **RESUMEN**

La capacidad de las plantas para absorber fósforo (P) del suelo es variable entre especies de plantas. Por otra parte, la capacidad de retención de P del suelo (CRP) limita la disponibilidad de este elemento para las plantas y puede influir sobre la capacidad de éstas para disolver y utilizar P de rocas fosfóricas (RF). Los objetivos de este trabajo fueron comparar la capacidad de cuatro especies de *Centrosema* para disolver y utilizar P de la roca fosfórica Riecito y estudiar la influencia de la CRP del suelo sobre la disolución de la roca fosfórica Riecito y utilización del P por *Centrosema*. Se utilizaron tres suelos ácidos con características diferentes, identificados como Espino, Iguana y Pao. La CRP de los suelos se determinó utilizando el modelo de isotermas de adsorción de P de Langmuir. En ensayo de invernadero, se comparó la eficiencia de cuatro especies de *Centrosema* (*Centrosema brasilianum*, *Centrosema molle*, *Centrosema macrocarpum* y *Centrosema rotundifolium*) para utilizar P en un suelo de baja CRP, con cinco dosis de P (0, 15, 30, 45 y 60 mg/kg) proveniente de la RF Riecito. Luego, de seleccionar la especie de *Centrosema* más eficiente, ésta se evaluó en tres suelos con diferente CRP y tres tratamientos de P (0, 50 y 75 mg/kg) proveniente de la RF Riecito. *Centrosema brasilianum* presentó la mayor eficiencia para utilizar P de la RF Riecito en el suelo con baja CRP. A medida que aumentó la capacidad de retención de P del suelo, aumentó la disolución de la roca fosfórica, pero no favoreció el crecimiento de la biomasa aérea y absorción de P por el cultivo.

*Palabras clave:* *Centrosema*, isotermas de adsorción de P, roca fosfórica, capacidad de retención de P, P disponible en suelo.

---

### **Efficiency of four *Centrosema* species to use phosphorus from Riecito phosphate rock in soils with different phosphorus sorption capacity**

#### **ABSTRACT**

The ability of plants to absorb P is variable among plant species. The soil P sorption capacity (PSC) may affect the ability of plants to dissolve and use P from phosphate rocks (PR). The objectives of this study were to compare the ability of four *Centrosema* species to dissolve and use P from Riecito phosphate rock (RPR), and to study the influence of soil P sorption capacity on *Centrosema* efficiency to dissolve and use P from RPR. Three acid P deficient soils were used, identified as Espino, Iguana, and Pao. The soil P sorption capacity was determined using the Langmuir isotherms model. The efficiency of *Centrosema brasilianum*, *Centrosema molle*, *Centrosema macrocarpum*, and *Centrosema rotundifolium* to dissolve and use P from RPR were compared in a greenhouse experiment, using a soil low in P sorption capacity. The P treatments were 0, 15, 30, 45, and 60 mg/kg of P from RPR. After choosing the most efficient *Centrosema* species, it was evaluated in three soils with different P sorption capacity and three P treatments (0, 50, and 75 mg/kg) from RFR. *Centrosema brasilianum* showed

higher efficiency to use P from RPR in the soil with low P sorption capacity. As soil P sorption capacity increased, the dissolution of RPR also increased. However, plant growth and P absorption were not enhanced.

*Keywords:* *Centrosema*, P adsorption isotherms, phosphate rock, soil P sorption capacity, soil available P.

## INTRODUCCIÓN

La deficiencia de fósforo (P) es considerada una de las mayores limitantes en el crecimiento de las pasturas en suelos del trópico (Rao *et al.*, 1996). Por otra parte, la fertilización con P en estos suelos es poco rentable, debido a la alta capacidad de estos suelos para fijar o retener este elemento, a la escasez de capital y a los altos costos de los fertilizantes (Lynch *et al.*, 1991). Sánchez y Uehara (1980) han propuesto dos estrategias de manejo para mitigar el problema de alta retención de P en estos suelos y aportar los requerimientos de P para los cultivos; la primera, considerada una opción de altos insumos, consiste en aplicar inicialmente alta dosis de P, lo cual tendría un efecto residual por varios años, además de mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos muy meteorizados. La segunda opción de bajos insumos, considera la aplicación del fertilizante en bandas (para satisfacer la capacidad de retención del P en un pequeño volumen de suelo), el empleo de especies o cultivares tolerantes a condiciones de suelos ácidos-deficientes en P y el uso de fuentes de P mas baratas, tales como las rocas fosfóricas, cuya solubilización se incrementa con la acidez y deficiencias de P y Ca en la solución del suelo, condiciones generalmente comunes en suelos tropicales.

Ohwaki (1998) propone la utilización de especies o cultivares que se adapten a condiciones de suelos ácidos deficientes en P. En este sentido, Pérez y Smyth (2005) han reportado que las leguminosas forrajeras presentan mayor capacidad para solubilizar y utilizar P de las rocas fosfóricas (RF) que las gramíneas, debido a que las leguminosas por su capacidad para fijar biológicamente  $N_2$  atmosférico, acumulan el N en formas reducidas, por lo cual presentan un exceso de cationes, lo que induce a la planta a liberar  $H^+$  a través de las raíces (para mantener el balance interno de cargas a nivel celular) y consecuentemente acidifican la rizosfera, promueven la solubilización de la RF y la disponibilidad del P en el suelo.

Por otra parte, en los proyectos de desarrollo en Venezuela (Proyectos PDVSA-Agrícola), se ha planteado la reactivación de las minas de

rocas fosfóricas ubicadas en el occidente del país, con el propósito de utilizarlas en la agricultura, principalmente en suelos ácidos y baja fertilidad, en la faja del Orinoco. Independientemente de estos proyectos nacionales, a nivel mundial se ha reactivado el uso de rocas fosfóricas, ya que como materiales naturales, son las únicas fuentes ricas en P, permitidas en la agricultura orgánica, lo cual pudiera abrir futuros mercados de exportación, en países con estos recursos naturales.

Es bien conocido que la disolución de las rocas fosfóricas en suelo se favorece con la acidez y bajas concentraciones de P y Ca en solución del suelo (Hammond *et al.*, 1986; Pérez y Smyth, 2005), sin embargo, poco se conoce sobre la influencia que tiene la capacidad de retención de P del suelo sobre la disolución de las rocas fosfóricas y su utilización por los cultivos. Este trabajo tuvo como objetivos: a) comparar la capacidad de cuatro especies de *Centrosema* (*Centrosema brasilianum*, *C. molle*, *C. macrocarpum* y *C. rotundifolium*) para disolver y utilizar P de la roca fosfórica Riecito (RFR) y (b) estudiar la influencia de la capacidad de retención de P del suelo sobre la disolución de la RFR y utilización del P por *Centrosema*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron tres suelos ácidos, deficientes en P (0-20 cm profundidad), identificados como el suelo Iguana, un Vertisol proveniente de la Estación Experimental La Iguana, estado Guárico; el suelo Espino, un Ultisol proveniente de la Finca El Silbón, Municipio Espino, estado Guarico y el suelo Pao, un Ultisol proveniente del Municipio Pao de San Juan Bautista, estado Cojedes. Las principales características químicas, contenido de arcilla y clase textural de estos suelos se presentan en el Cuadro 1.

### Capacidad de retención de fósforo de los suelos

La capacidad de retención de P de estos suelos se determinó usando el modelo de isotermas de Langmuir, para lo cual se incubaron por 15 días, una serie de muestras de 5 g de suelo con 50 mL de

solución de  $\text{CaCl}_2$  0,01M, conteniendo cantidades crecientes de P en forma de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  y equivalentes a 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 y 200 mg de P/L de solución. El pH de la suspensión fue ajustado a 6,0 con NaOH ó HCl 0,1M y a cada muestra se le aplicó dos gotas de cloroformo, para evitar el crecimiento microbiano en la suspensión durante el tiempo de incubación. Las muestras fueron mantenidas en un agitador reciproco con baño de maría ajustado a 25°C y diariamente se agitaron por 30 minutos. A los 15 días de establecida la incubación se determinó la concentración de P en la solución sobrenadante (Ci), por espectrofotocolorimetría (Murphy y Raley, 1962). Se consideró P adsorbido o retenido por el suelo al P que desapareció de la solución.

### Tratamientos y diseño del experimento 1

Se evaluó la capacidad de cuatro especies de *Centrosema*: *C. brasilianum*, *C. macrocarpum*, *C. molle* y *C. rotundifolium*, para solubilizar y utilizar P de la RFR en un suelo de baja capacidad de retención de P (suelo Espino). Los tratamientos de P consistieron en aplicar 0, 15, 30, 45 y 60 mg/kg de P soluble en citrato de amonio neutro (CAN) contenido en la RFR (la RFR contiene 29,0% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  total y 8,5% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  soluble en CAN). Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas principales fueron ocupadas por las especies de *Centrosema* y las subparcelas por los tratamientos de P. Se utilizó un invernadero provisto de un sistema de enfriamiento automático, constituido por cinco extractores de aire y cortina de agua lateral, que permitieron mantener temperaturas ambientales entre 28 y 38°C. Se utilizaron potes plásticos con capacidad de 4 kg de suelo y se aplicó fertilización básica, a través de soluciones nutritivas tres veces a la semana. No se aplicó N y la cantidad total de macronutrientes aplicados, expresados en mg/kg de suelo, fueron las siguientes: 250 de K, 52 de Mg y 170 de S como  $\text{MgSO}_4$  y  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . La cantidad total de micronutrientes aplicados, expresados como  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de suelo, fueron los siguientes: 55,6 de Mn como  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 3,8 de Cu como  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 6,9 de B como  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 2,2 de Mo como  $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0,37 de Co como  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 374,8 de Fe como  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y 216 de Na como  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$  y NaCl. Las semillas fueron inoculadas en el momento de la siembra, usando 4 mL/pote de una suspensión de inoculo específico para *Centrosema*. Se sembraron

8 semillas/pote y una vez establecidas se dejaron 5 plantas/pote. La cosecha se realizó a los 56 días de establecido el ensayo y se determinó materia seca aérea y la cantidad de P y Ca acumulado en la planta. En el suelo se determinó P disponible y Ca intercambiable. Los contenidos de Ca y P en planta fueron extraídos por digestión húmeda con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  y en el extracto se determinó Ca por absorción atómica y P por espectrofotocolorimetría. En suelo se determinó P disponible, extraído con  $\text{NaHCO}_3$  0,5M y determinado por espectrofotocolorimetría (Murphy y Raley, 1962), pH relación 1:2,5 suelo: agua y Ca intercambiable extraído con KCl 1N y determinado por absorción atómica. La eficiencia de utilización de P por la planta se estimó como la producción de materia seca aérea por unidad de P aplicado.

### Tratamientos y diseño del experimento 2

Luego de seleccionar la especie de *Centrosema* más eficiente para utilizar P de la RFR, se realizó un segundo ensayo de invernadero con suelos de diferente capacidad de retención de P (suelos Espino, Iguana y Pao) para determinar la influencia de la capacidad de retención de P del suelo sobre la capacidad de la especie para producir biomasa y utilizar P de la RFR. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas principales fueron ocupadas por el tipo de suelo y las subparcelas por los tratamientos de P. Los tratamientos de P consistieron en aplicar 0, 50 y 75 mg/kg de P soluble en CAN de la roca fosfórica Riecito, excepto en el suelo Espino, donde no se aplicó la dosis de 75 mg/kg de P, debido a la baja capacidad de retención de P de este suelo. Se aplicó inoculante, fertilización básica y el mismo manejo que en el Experimento 1. En la planta se determinó materia seca aérea, Ca y P acumulado en planta y en suelo se determinó P disponible y Ca intercambiable por los métodos ya señalados. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de medias (mínima diferencia significativa) utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Isotermas absorción de P

Los términos capacidad de fijación, adsorción ó retención de P en el suelo son análogos y generalmente, se refieren a la transformación de formas solubles de P a formas menos solubles, luego

de los procesos de reacción con el suelo. A medida que aumenta la capacidad de retención de P del suelo, disminuye la concentración de P en solución del suelo, lo cual afecta la suplencia de este elemento a los cultivos. Este proceso puede simularse mediante la construcción de isotermas de adsorción, entre las cuales destaca la isoterma de adsorción de Langmuir, la cual se caracteriza por disminuir la pendiente de la curva, a medida que aumenta la concentración de P en solución, es decir, cuando los sitios de adsorción de P en la fase sólida del suelo van siendo saturados.

Las isotermas de adsorción de P para los tres suelos estudiados se presentan en la Figura 1. De acuerdo a la ecuación de Langmuir, el suelo Iguana presentó mayor coeficiente de afinidad por el P (0,11) que los suelos Pao (0,05) y Espino (0,04) y su capacidad de retención de P fue 1,6 y 10,4 veces mayor que en los suelos Pao y Espino, respectivamente. La mayor capacidad del suelo Iguana para retener P correspondió con el mayor grado de acidez, contenidos de arcilla y Al intercambiable en este suelo, en comparación con los suelos Pao y Espino, respectivamente (Cuadro 1).

En el suelo Espino, el P en solución alcanzó equilibrio con las primeras dosis de P aplicado y mantuvo alta concentración en solución, durante el tiempo de incubación, lo cual correspondió con sus bajos contenidos de arcilla (6%) y aluminio intercambiable (0,5 cmol/kg). A pesar que en el suelo Pao la adsorción de P fue alta al inicio, luego la concentración de P se mantuvo relativamente alta durante el tiempo de incubación, lo que sugiere que los procesos de adsorción-desorción de P ocurrieron casi simultáneamente.

### Disolución de la roca fosfórica

En la disolución de la roca fosfórica se liberan cantidades de Ca y P proporcionales a la tasa de disolución del apatito de este sustrato; sin embargo, en el suelo gran parte del P liberado puede ser adsorbido o retenido, subestimando así la tasa de disolución de la RF. En este sentido, Smyth y Sánchez (1982) encontraron que en suelos tropicales tratados con rocas fosfóricas de diferente reactividad, la disponibilidad de P disminuyó, mientras que los valores de Ca intercambiable aumentaron a medida que aumentó la capacidad de retención de P del suelo, lo que indica que parte del P liberado por disolución de las RF fue nuevamente adsorbido, por lo que sugieren utilizar

las diferencias en Ca intercambiable (DCa) entre el tratamiento control sin RF y los tratamientos con RF, para estimar la disolución de las rocas fosfóricas, en lugar del P liberado de la roca fosfórica (DP).

En el Cuadro 2 se presentan los valores de DCa en función del tipo de suelo y tratamiento con RFR. Se puede observar que los valores de DCa se incrementaron a medida que aumentaron las dosis de RFR y la capacidad de retención de P de los suelos. De acuerdo a los valores de DCa, la mayor disolución de la RFR ocurrió en el suelo Iguana, el cual presentó la mayor capacidad de retención de P (Figura 1). Esto se corresponde con lo reportado por Smyth y Sánchez (1982), quienes señalan que la mayor disolución de las rocas fosfóricas ocurrió en aquellos suelos con los menores valores de P disponible y mayores contenidos de arcilla y óxidos de hierro libres ( $Fe_2O_3$ ) y mayor capacidad de retención de P. Hammond *et al.* (1986) también señalan que a medida que aumenta la capacidad de retención de P del suelo, la disponibilidad de P en el suelo, producto de la disolución de las rocas fosfóricas puede disminuir, a pesar que la disolución de la roca fosfórica se incrementa con la capacidad de retención de P del suelo.

### Comparación de especies de *Centrosema* en la producción de materia seca aérea

Hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la producción de materia seca aérea entre las especies de *Centrosema* evaluadas en el suelo Espino (Figura 2). *Centrosema brasilianum* presentó la mayor producción de materia seca aérea con cualquiera de las dosis de P aplicada (4,0 g/planta promedio de tratamientos), seguida en forma decreciente por *Centrosema rotundifolium* (3,3 g/planta), *Centrosema molle* (2,6 g/planta) y *Centrosema macrocarpum* (1,6 g/planta). Se puede observar que con la dosis de 15 mg/kg de P de la RFR, *Centrosema brasilianum* produjo 85% de su máxima producción de materia seca, mientras que con la misma dosis de P, las especies *Centrosema rotundifolium*, *Centrosema molle* y *Centrosema macrocarpum* produjeron 73, 63 y 59%, respectivamente, de su máxima producción de materia seca (Figura 2).

### Eficiencia de las especies de *Centrosema* para utilizar P

Las maneras de definir eficiencia de utilización de un nutriente por la planta pueden dividirse en

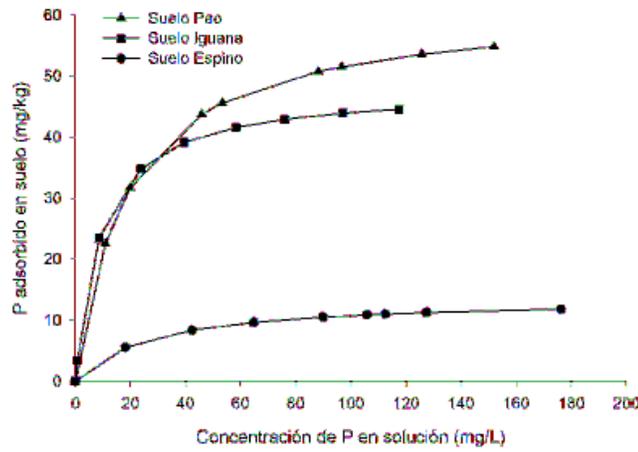


Figura 1. Isotermas de adsorción de P (modelo de Langmuir) de los suelos Pao, Iguana y Espino.

Cuadro 1. Características de los suelos utilizados en el estudio.

Características	Espino	Pao	Iguana
pH 1:2,5 agua	5,1	5,6	4,9
P-Olsen, mg/kg	6,0	7,0	2,0
Ca interc., mg/kg	94	470	236
Al interc., cmol/kg	0,5	0,0	1,8
Arcilla, %	6,0	18,0	52,0
Mat. Orgánica, %	0,83	2,38	2,10
CIC, cmol/kg	2,8	9,4	16,7
Textura	Areno francosa	Franca	Arcillosa

Cuadro 2. Estimado de la disolución de la roca fosfórica Riecito (RFR) con base a las diferencias de Ca intercambiable (DCa).

Suelo	Tratamiento con RFR, mg/kg	
	50	75
	----- DCa, mg/kg -----	
Espino	74,8	-
Pao	141,0	170,0
Iguana	253,7	317,3

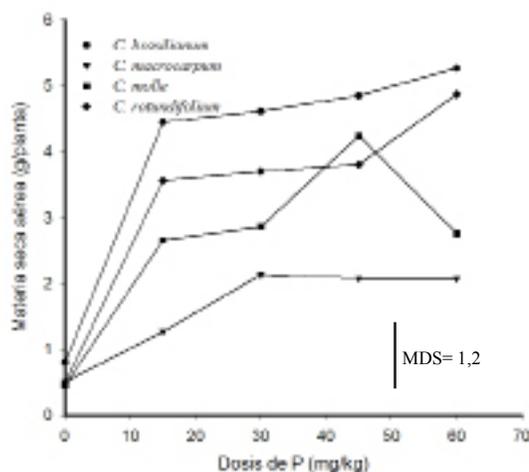


Figura 2. Respuesta a la aplicación de P en varias especies de *Centrosema* en un suelo de baja capacidad de retención de P.

aquellas que hacen énfasis en la productividad o parámetros de rendimiento, conocida como eficiencia agronómica (rendimiento en materia seca o fruto cosechado por unidad de nutriente aplicado) y en aquellas que enfatizan en los requerimientos internos de la planta (biomasa total producida por unidad de nutriente absorbido) (Gourley *et al.* 1994). En este trabajo, la eficiencia de utilización de P por el cultivo se refiere al peso seco aéreo producido por unidad de P aplicado.

La eficiencia de las especies de *Centrosema* para utilizar P de la RFR presentó el siguiente orden decreciente: *C. brasilianum* > *C. rotundifolium* > *C. molle* > *C. macrocarpum* (Figura 3). En general, la relación producción de biomasa aérea/unidad de P suministrado disminuyó drásticamente a medida que aumentó el suministro de P (P externo). Las diferencias en eficiencia de utilización de P entre especies fueron muy marcadas a bajos niveles de P y se atenuaron a medida que aumentó el suministro de P, donde *C. brasilianum* y *C. rotundifolium* presentaron similar eficiencia para utilizar P. Esto confirma las conclusiones de Blair y Wilson (1990) quienes señalan que solo en condiciones de baja suplencia de P se manifiestan las interacciones entre factores inherentes a la tasa de crecimiento y la habilidad de las especies para sobrevivir en condiciones limitantes de P. En este sentido, Gourley *et al.* (1994) consideran que la mejor manera de estimar la productividad de un cultivo en suelos deficientes en P es seleccionando

germoplasmas por la producción de peso seco aéreo o fruto cosechado bajo condiciones bajas de P.

#### **Influencia de la capacidad de retención de P del suelo sobre el comportamiento de *Centrosema brasilianum***

Con base a los resultados de la evaluación de especies de *Centrosema* en un suelo de baja capacidad de retención de P, se seleccionó *Centrosema brasilianum* para evaluar el efecto de la capacidad de retención del suelo sobre el crecimiento y acumulación de P en la planta. Debido a la baja capacidad de retención de P del suelo Espino, en éste no se aplicó el tratamiento de 75 mg/kg de P. Hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la producción de materia seca (Figura 4) y P acumulado en el cultivo (Figura 5) por efecto de la interacción del tratamiento de P y la capacidad de retención de P de los suelos utilizados. Con la dosis de 50 mg/kg de P de la RFR en el suelo Espino (suelo de baja capacidad de retención de P), *Centrosema brasilianum* produjo 19 y 73% más materia seca que en los suelos Pao e Iguana, respectivamente. Estas diferencias en producción de materia seca se corresponden con las diferencias relativas en capacidad de retención de P de los tres suelos (Figura 1), es decir, en suelos con baja capacidad de retención de P, mayor disponibilidad de P para el cultivo. Con la dosis de 75 mg/kg de P de la RFR, en el suelo Pao se produjo 67% mayor cantidad de materia seca que en el suelo Iguana, lo cual indica

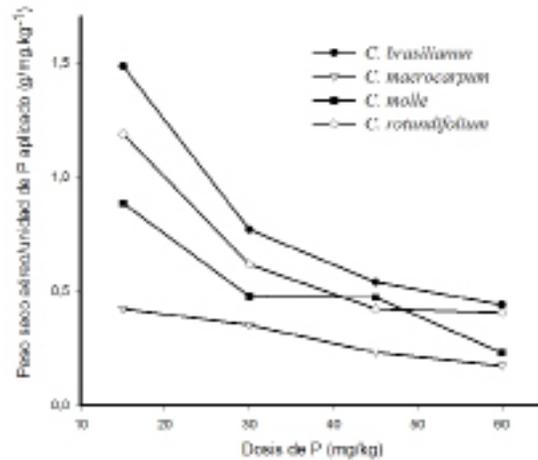


Figura 3. Eficiencia de varias especies de *Centrosema* para utilizar P de la roca fosfórica Riecito en suelos de baja capacidad para retener P.

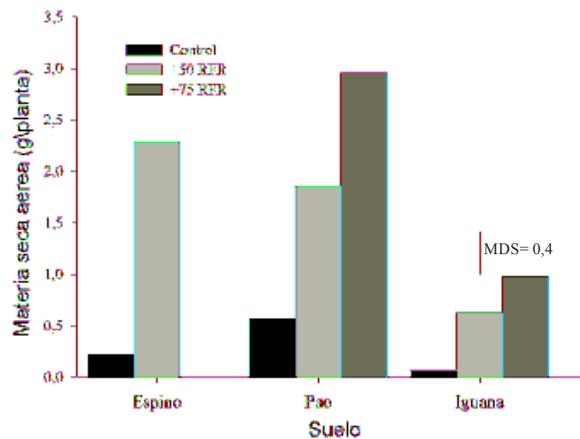


Figura 4. Efecto de la aplicación de P como roca fosfórica Riecito en al producción de materia seca aérea de *Centrosema brasilianum* en suelos con diferentes capacidades de retención de P.

que aunque el suelo Pao presentó alta retención de P con la aplicación de las primeras dosis de P (Figura 1), éste mantuvo relativamente alta concentración de P en solución, probablemente debido a que los procesos de adsorción y desorción de P se mantuvieron simultáneos, por lo que pudo mantener suficiente P disponible a medida que el cultivo lo requirió. Con el tratamiento control sin P, la producción de materia seca (Figura 4) y acumulación de P en planta (Figura 5) fueron mayores en el suelo Pao que en los otros suelos, lo cual se corresponde con el relativamente mayor nivel de fertilidad de este suelo (Cuadro 1)

y la probable capacidad de adsorber y desorber P simultáneamente.

Considerando la mayor eficiencia de *Centrosema brasilianum* para utilizar P de la RFR (Figuras 2 y 3) y la alta disponibilidad de P en el suelo Espino (Figura 6), para efectos de recomendación a nivel de campo, en suelos ácidos, arenosos y de baja capacidad de retención de P, tal como el suelo Espino, se podría aplicar entre 800 y 1.300 kg de la RFR/ha. Mientras que en suelos con características similares al suelo Pao (alta capacidad de retención de P, texturas francas y mediano-alto nivel de fertilidad) se estiman

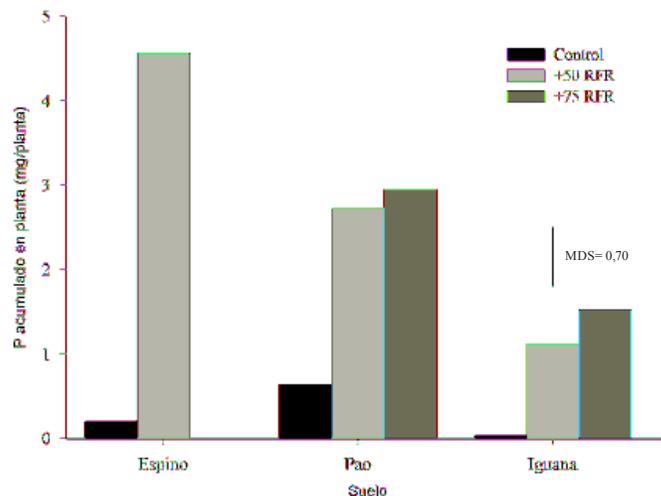


Figura 5. Efecto de la aplicación de P de la roca fosfórica Riecito sobre la acumulación de P en *Centrosema brasilianum* en suelos con diferente capacidad de retención de P.

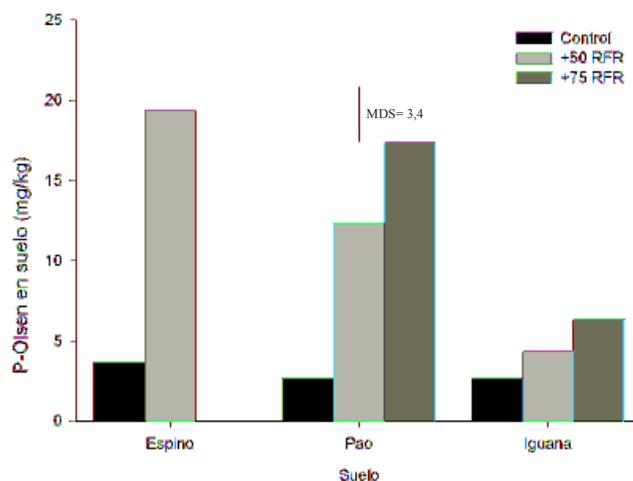


Figura 6. Disponibilidad de P en suelo en suelos con diferente capacidad de retención de P después de la cosecha del *Centrosema brasilianum* bajo tratamientos con la roca fosfórica Riecito.

aplicaciones entre 1.300 y 2.000 kg de RFR/ha. En el caso de suelos ácidos, muy arcillosos y alta capacidad de retención de P, tales como el suelo Iguana, se requerirían extremadamente altas cantidades de RFR (entre 8.000 y 13.000 kg de RFR/ha) para poder saturar los sitios de adsorción de P en el suelo y dejar disponibilidad de P para los cultivos.

El suelo Iguana utilizado en este estudio es un suelo de muy baja fertilidad con limitaciones físicas y químicas para la producción agrícola. En caso de querer mejorarlo para la producción de pasturas tolerantes a condiciones de acidez, se recomienda el

uso de rocas fosfóricas (de mediana-alta solubilidad) fraccionando la dosis antes estimada en aplicaciones anuales por varios años.

## CONCLUSIONES

Entre las especies de *Centrosema* evaluadas, *Centrosema brasilianum* presentó la mayor eficiencia para utilizar P de la roca fosfórica Riecito

La capacidad de retención de P de los suelos presentó el siguiente orden: Iguana  $\geq$  Pao > Espino y estuvo relacionada principalmente con el contenido

de arcilla y Al intercambiable, pH y nivel de fertilidad general de los suelos.

A medida que aumentó la capacidad de retención de P del suelo, aumentó la disolución de la roca fosfórica, mas no favoreció el crecimiento de biomasa aérea y absorción de P por el cultivo.

### RECOMENDACIONES

1. Para mantener niveles de P disponibles, adecuados para el desarrollo óptimo del *Centrosema brasilianum* en suelos ácidos, arenosos y de baja capacidad de retención de P, se recomiendan aplicaciones bi o trianuales entre 800 y 1.300 kg/ha de rocas fosfóricas de mediana-alta solubilidad, tal como la roca fosfórica Riecito.
2. En suelos ácidos, de texturas medias y mayor nivel de fertilidad, se ha estimado y recomienda aplicaciones bi o trianuales entre 1.300 y 2.000 kg/ha de rocas fosfóricas de mediana-alta solubilidad.
3. En suelos ácidos, arcillosos, de muy bajo nivel de fertilidad y alta capacidad de retención de P, se recomienda aplicaciones entre 8.000 y 13.000 kg/ha de rocas fosfóricas de mediana-alta solubilidad, fraccionando la dosis en aplicaciones anuales por varios años.

### AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue financiada parcialmente por FONACIT, Proyecto S1-2001000984, Venezuela.

### LITERATURA CITADA

Blair G.J. y E.J. Wilson. 1990. Phosphorus efficiency in pastures species. IV. Yield, efficiency parameters and partitioning of P in two white clovers accessions under varying levels of P supply in solution culture. *Aust. J. Agric. Res.*, 41: 1071-82.

Gourley C.J.P., D.L. Allan y M.P. Russelle. 1994. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Pant & Soil*, 158: 29-37.

Hammond L.L., S.H. Chien y A.U. Mokwunye. 1986. Agronomic value of unacidulated and partially

acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron.*, 40: 89-140.

Hammond L.L., S.H. Chien y G.W. Easterwood. 1986. Agronomic effectiveness of Bayovar phosphate rock in soil with induced phosphorus retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 1601-1606.

Lynch J., A. Läuchli y E. Epstein. 1991. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.*, 32: 380-387.

Ohwaki Y. 1998. Comparative studies on phosphorus and iron nutrition of tropical legumes. *Japan Int. Res. Centre Agric. Sci., Working Report*, N° 11. Tsukuba, Japón.

Pérez M.J. y T.J. Smyth. 2005. Comparación del efecto de dos especies forrajeras sobre el pH de la rizosfera y la disolución de rocas fosfóricas de diferente reactividad. *Rev. Fac. Agron. LUZ*, 22: 143-156.

Rao I., V. Borrero, J. Ricaurte, R. García y M. Ayarza. 1996. Adaptative attributes of tropical forage species to acid soils. II. Differences in shoot and root growth responses varying phosphorus supply and soil type. *J. Plant Nutr.*, 19: 323-352.

Murphy J. y J.P. Riley. 1962. A modified single extraction solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Act.*, 27: 31-36.

Sánchez P.A. y G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. *En Khasawneh F.E., E.C. Sample y E.J. Kamprath (Eds.) The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, EUA.* pp. 471-509.

Smyth T.J. y P.A. Sánchez. 1982. Phosphate rock dissolution and availability in Cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 339-345.

SAS. 2000. SAS User's Guide. Release 8.02 SAS Institute, Cary, EUA.