

Roca fosfórica y superfosfato triple como fuentes de fósforo para *Centrosema* en un suelo ácido

Maria Lugo Soto¹ Ricardo Ramírez^{2,3*} e Ignacio Entrena³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Ciudad Bolivia, estado Barinas, Venezuela.

²Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, estado Aragua, Venezuela.

³INIA, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias CENIAP. Maracay, estado Aragua, Venezuela.

Correo electrónico: abisam28@gmail.com

⁴Universidad Experimental Simón Rodríguez. Maracay, estado Aragua, Venezuela.

RESUMEN

Una alta proporción de los pastizales cultivados están asentados en suelos ácidos deficientes en fósforo (P). La aplicación de fertilizantes fosfatados solubles es una solución al problema, sin embargo, el uso de la roca fosfórica (RF) como fuente de P es una alternativa válida. El objetivo del trabajo fue evaluar la RF de Riecito y el superfosfato triple (SFT) en un suelo ácido con tres ecotipos de *Centrosema macrocarpum* midiendo la producción de materia seca (MS), la absorción de P y calcio (Ca) y la influencia de la longitud radical (LR) sobre la MS, P y Ca absorbidos por la planta. La respuesta de la *Centrosema* a la aplicación de RF medida como MS y absorción de P y Ca se evidenció después de un período largo (80 d) de incubación de la roca en el suelo; en cambio la respuesta al SFT fue muy temprana (30 d). El comportamiento de los ecotipos parece indicar que existen diferencias entre ellos en relación a su respuesta a las fuentes de P y Ca. La producción de la MS, absorción de P (Pab) y Ca (Caab) por las plantas mostró una alta dependencia de la longitud radical, a su vez la MS presentó una alta relación con el P y Ca absorbidos.

Palabras clave: fósforo, calcio, longitud radical, absorción de nutrientes, materia seca, *Centrosema macrocarpum*

Phosphate rock and triple superphosphate as phosphorus sources for *Centrosema*

ABSTRACT

A large proportion of cultivated forage in Venezuela are planted in acidic soils low in available phosphorus (P). The use of soluble P fertilizers can solve the problem, but the use of phosphate rock could be less expensive alternative. The objective of this study was to test Riecito phosphate rock and triple superphosphate as P sources for three *Centrosema macrocarpum* ecotypes in an acidic soil. Response of *Centrosema* dry matter (DM) P and Ca uptake to phosphate rock was evident after 80 days of phosphate rock incubation in the soil. However, *Centrosema* response to triple superphosphate was detected faster, after a period of only 30 days. Ecotypes response to P source suggested differences in their capacity to use P from phosphate rock and triple superphosphate. Dry matter production, P and Ca uptake were highly dependent on the root length. Dry matter accumulation depended on P and Ca uptake.

Keywords: phosphorus, calcium, root length, nutrient uptake, dry matter, *Centrosema macrocarpum*.

INTRODUCCION

El fósforo (P), junto con el nitrógeno (N), es uno de los nutrientes más deficientes en los suelos ácido (Sa); los sistemas de producción ubicados en este tipo de suelos requieren, normalmente, de altas aplicaciones de fertilizantes fosfatados o nitrogenados, así como enmiendas como cal agrícola. Casanova (1993) estimó que aproximadamente 60 millones de hectáreas, en Venezuela, correspondían a Sa, por consiguiente con altos requerimientos de fertilizantes y enmiendas para poder lograr cosechas aceptables.

Una posible fuente de P es la roca fosfórica (RF) especialmente para los cultivos de ciclo largo (Pérez *et al.*, 1995; León, 1991). La dificultad de la RF para ser usada como fertilizante fosfatado radica en su baja solubilidad y, por consiguiente, en la lenta liberación de P disponible para la planta (Hammond *et al.*, 1986; Casanova, 1993; Chien *et al.*, 1995; Chien y Menon, 1995 Allen *et al.*, 1995). Debido a su limitada solubilidad la RF se recomienda para cultivos permanentes, los cuales pueden tomar ventaja de ésta característica para tener P residual disponible por períodos de tiempo más largos.

El uso de la RF en Sa tiene la ventaja de que el pH bajo de éstos suelos es el factor directamente responsable de su disolución (Barnes y Kamprath, 1975; Paesle *et al.*, 1962; MacKay *et al.*, 1986). Las características de las raíces también tienen efecto sobre la disolución y utilización del P del suelo (Gahoonia *et al.*, 1997), las variaciones en longitud, superficie y radio radical así como la densidad de las raíces, juegan un papel muy importante en los suelos pobres en P (Föhse *et al.*, 1991; Gahoonia *et al.*, 1997 y Zoysa *et al.*, 1998). Por estas razones es necesario evaluar la capacidad de los suelos para solubilizar las fuentes de P poco solubles, conjuntamente con la de la planta para absorber P, especialmente cuando el origen de éste es una fuente de poca solubilidad como la RF.

Centrosema macrocarpum es una leguminosa adaptada a los suelos tropicales de pH bajo y responde muy bien a la fertilización nitrogenada y fosfatada. Al respecto, Aguirre *et al.* (1988) encontraron diferencias en la respuesta al P y N entre 2 especies de *Centrosema*. Por su parte, Cadisch *et al.* (1992) observaron diferencias en la respuesta de 12 ecotipos de *Centrosema* a la fertilización con P. En un

experimento realizado en suelo Ultisol de pH 4,5 y con 78% de saturación de las bases con aluminio (Al), Argel *et al.*, (1997) encontraron que el ecotipo de *C. macrocarpum*, CIAT 5056, respondió positivamente a la aplicación de P al suelo; esta respuesta fue mayor cuando también se aplicó azufre (S).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la posible diferencia entre tres ecotipos de *C. macrocarpum* en la utilización del P de la RF proveniente de Riecito y estudiar la influencia del sistema radical en sobre la absorción de P y Ca.

MATERIALES Y METODOS

Para realizar el trabajo se usó un suelo superficial (0-20 cm) clasificado como Typic Ochraquox, franco fino ácido, silicio, isohipertérmico, colectado en la finca El Milagro, localidad La Becerrera, Dtto. Miranda, Edo. Guárico, Venezuela. El suelo se seco al aire y tamizó usando una malla de 2 mm. El análisis de suelo mostró en mg kg⁻¹ 2,3 de P, 36 de K (Olsen *et al.*, 1954; 40 de Ca), 4,9 de Zn por Mehlich 1 (HRMST 1980) 0,32 % de materia orgánica Walkley y Black (1934); pH 4,5 (Relación suelo-agua 1:2,5); capacidad intercambiable 8,97 cmol kg⁻¹, Al 5,48 cmol kg⁻¹ y saturación de bases por Al de 61%.

La dosis de P aplicada al suelo fue de 100 mg kg⁻¹ y se usaron 2 fuentes de P: RF de Riecito micronizada con 20,10 % de P total y 27,35 % de Ca, y superfosfato triple (SFT) con 20,10 % de P y 14 % de Ca más un tratamiento testigo sin aplicación de P (0P). Todos los potes recibieron una fertilización básica, en mg kg⁻¹, de 330 de N en forma de urea, 225 de K como cloruro de potasio y 30 de Zn como sulfato de Zn. Los fertilizantes, de cada tratamiento, se mezclaron con 4 kg de suelo previamente secado al aire y tamizado a 3 mm. Las mezclas se colocaron en potes plásticos de 5 l.

Los ecotipos de *Centrosema* usados fueron: CIAT-5713 (E13), CIAT-5730 (E30) y CIAT-5735 (E35). Antes de la siembra las semillas se escarificaron con una solución de ácido sulfúrico al 70%, luego fueron lavadas con agua corriente y secadas con papel absorbente. Las semillas se germinaron en papel absorbente húmedo por 48 h y se escogieron aquellas con la radícula visible, iniciando la germinación; y se sembraron en el suelo humedecido con agua desmineralizada. Diez días después de la germinación las plantas se entresacaron para dejar 3 por pote,

procurando escoger las más vigorosas. Durante el experimento la humedad del suelo se mantuvo entre 30 y 90 % de la capacidad de campo, agregando agua desmineralizada cuando fue necesario.

Los tratamientos formados por 3 ecotipos y 2 fuentes de P se distribuyeron en un diseño factorial completamente aleatorizado con 3 repeticiones. Los potes se colocaron en un invernadero con control de temperatura por medio de una cortina de agua. La temperatura máxima registrada en el curso del experimento fue de 33° C y la mínima de 16° C. Durante el período de duración del experimento realizándose 3 cortes de follaje a los 30, 55 y 80 d después del entresaque. Las plantas se cortaron a 1 cm por encima la superficie del suelo, lavándose con agua desmineralizada y secándose en una estufa de ventilación forzada a 70°C por 48 h; las muestras secas se pesaron y luego fueron molidas usando un tamiz de 1 mm. El tejido vegetal seco fue digerido con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno al 30 % (Thomas *et al.*, 1967) en un bloque de aluminio; en el extracto obtenido se determinó P por colorimetría (Wolf, 1982) y el Ca por absorción atómica.

Después de cada cosecha se tomaron muestras de suelo, usando un tubo de 2,5 cm de diámetro interno, desde la superficie hasta la base del pote, analizándose los suelos para P, Ca y pH. Al momento de los cortes correspondientes a los 55 y 80 d fueron recolectadas muestras semejantes a las anteriores para la determinación de la longitud radical (LR) siguiendo el método de la cuadrícula (Tennant, 1975). Las raíces se separaron del suelo con agua corriente usando tamices de 1, 2 y 3 mm, conservadas en una solución de alcohol al 70%, hasta el momento de la determinación de la LR.

El análisis estadístico de los datos se hizo por medio del paquete estadístico Statistix 8, cuidando de probar los supuestos de homogeneidad, normalidad e independencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la varianza, siguiendo el diseño de factorial 3*3 (ecotipos x fuente de P) mostró valores de F significativos para el factor fuente en MS, absorción de P (Pab) y Ca (Caab), en todas las épocas de muestreo. En cambio, para el factor ecotipo solo se encontró significación para MS a los 30 d de edad de la planta, Pab total, Caab a los 80 d y para el total. Los

valores de F para la interacción fueron significativos para las 3 variables estudiadas en los 3 cortes y el total. De acuerdo con ésta información se procedió al cálculo de la comparación de medias de fuentes de P dentro de cada ecotipo.

La comparación de medias de MS entre ecotipos a los 30 d mostró que la producción de E35 fue mayor al de E13 y E30, este comportamiento no se manifestó en plantas más adultas.

La producción promedio de MS debido al efecto del uso de SFT y RF fue significativamente mayor que la encontrada con OP en los 3 cortes, esta respuesta es una evidencia de la deficiencia de P en el suelo.

El SFT fue más eficiente que la RF para la producción de MS a los 30 y 55 d, debido posiblemente a su capacidad para liberar rápidamente P disponible para la planta. La respuesta de la RF se hizo más evidente a los 80 d, cuando la MS igualó a la producida por el SFT. Este comportamiento se puede explicar debido a que primero debe ser solubilizada para liberar P; por esta característica se la conoce como un fertilizante fosfatado de liberación lenta y, por consiguiente, la respuesta de la planta es más demorada.

La respuesta de los ecotipos E13 y E30 a la RF, se observó a los 80 d (Cuadro 1) cuya producción de MS fue significativamente igual a la encontrada con el SFT; en cambio, la respuesta de E35 a la RF fue sustancialmente superior a la registrada con el SFT. Los beneficios de la RF a largo plazo fueron más evidentes cuando se tomó en cuenta la MS total producida, suma de los 3 cortes (Cuadro 1).

Estos resultados concuerdan con los de Chien *et al.* (1987) quienes demostraron que la respuesta de la MS a la RF está relacionada con el tiempo que toma el proceso de solubilización de la RF en el suelo. Este proceso es más lento que el de una fuente soluble como el SFT (Allen *et al.*, 1995), por esta razón la RF se considera como una fuente de P menos eficiente para cultivos de ciclo corto. Al respecto, López *et al.* (1987) trabajando en un suelo Ultisol ácido, encontraron que el SFT liberaba una alta porción del P disponible en un período de tiempo corto, lo que permitía obtener mejores rendimientos de sorgo en la primera cosecha que con el uso de RF, en cambio la respuesta a la RF fue favorable en la tercera cosecha.

Cuadro 1. Respuesta de la materia seca (gramos pote⁻¹) de tres ecotipos de *Centrosema macrocarpum* a la fertilización con superfosfato triple y roca fosfórica Ecotipos

Fósforo	Ecotipos			Media
	13	30	35	
30 días				
0 P	0,31c	0,34c	0,28c	0,28c
RF	1,16b	0,64b	1,15b	0,98b
SFT	2,72a	3,23a	3,62a	3,19a
Media CV=18,0%	1,40b	1,37b	1,68a	
55 días				
0 P	2,10c	1,70c	2,53c	2,11c
RF	9,57b	9,63b	9,03b	9,47b
SFT	11,43a	13,23a	13,23a	12,63a
Media CV=12,24%	7,70	8,26	8,19	
80 días				
0 P	5,57 b	4,20 b	6,03 c	5,27 b
RF	18,30 a	18,50 a	18,17 a	18,32 a
SFT	18,50 a	19,27 a	15,53 b	17,77 a
Media CV=12,00%	14,12	13,99	13,24	
Sumatoria				
0 P	7,98 b	6,14 c	8,84 b	7,65 c
RF	29,03 a	27,77 b	28,35 a	28,72 b
SFT	32,69 a	35,27 a	32,38 a	33,60 a
Media CV=6,00%	23,55	23,55	23,20	

Valores en las columnas o en las filas seguidos por diferente letra son significativos para $<0,05$ según Tukey.

El Pab promedio correspondiente al SFT y a la RF fue significativamente mayor al correspondiente al OP (Cuadro 2) en los 3 cortes. El incremento significativo del Pab debido al uso SFT respecto a la RF, a los 30 d, fue de 230%, pero en plantas más adultas de 55 y 80 d la Pab con RF fue notable igual a la correspondiente a SFT. Sin embargo, el promedio de la sumatoria de Pab mostró que el efecto del SFT es sustancialmente superior al encontrado para RF, este comportamiento fue debido a la alta influencia que ejerció el corte a los 35 d.

Examinando el comportamiento individual de los ecotipos con respecto a las fuentes de P aplicado al suelo a los 30 y 55 d se puede ver que siguieron el mismo patrón reflejado en los promedios. Pero a los 80 d las interacciones ecotipo-fertilizante fueron diferentes, en E30 y E55 la Pab fue representativamente mayor cuando se aplicó RF en comparación con el SFT; todo lo contrario ocurrió con el E13, el Pab fue mayor con la fuente más soluble. Este comportamiento de los materiales genéticos a 80 d parece evidenciar que podrían existir diferencias entre ellos, en su capacidad para tomar P de fuentes fosfatadas que difieren en solubilidad.

Los datos obtenidos confirman que la eficiencia de la RF, como fuente de P para la planta, está relacionada con el tiempo de permanencia y degradación en el suelo. La disolución de la RF ha sido relacionada con algunas características químicas de los suelos así como también con las propiedades fisiológicas de los cultivos y la naturaleza de las fuentes de P aplicadas al suelo (Hammond *et al.*, 1986; Balan y Hedley 1990; Chien and Menon, 1995).

Está demostrado que el pH de los Sa favorece en alto grado la disolución de la RF, en cambio los niveles bajos de P o Ca disponibles tiene un efecto de poca importancia (Paslee *et al.*, 1962, Mackey *et al.*, 1986, Barnes and Kamprath 1975, Hammond *et al.*, 1986, He *et al.*, 1996, Ramírez *et al.*, 2001). En general, en este experimento, el comportamiento del Pab en el tiempo, reflejado por el P total absorbido, demuestra que el uso de la RF en un Sa es más ventajoso en la medida que el tiempo de reposo en el suelo es mayor, en comparación con la fuente más soluble como el SFT.

La Caab por los ecotipos reveló un comportamiento parecido al observado con el P y la MS. A los 30 y 55 d el promedio de Caab a la fertilización con SFT

fue significativamente mayor que el equivalente a la RF (Cuadro 3). A los 80 d el comportamiento de las medias del Caab fue diferente, el correspondiente a la RF fue representativamente mayor que el de SFT.

Observando las interacciones se puede ver que la conducta de los ecotipos fue diferente con el tiempo a los 30 d el Caab donde se aplicó SFT fue significativamente mayor que con RF, en los 3 ecotipos. A los 55 d E13 no mostró diferencias notables entre RF y SFT, en cambio E30 y E35 acusaron respuestas relevantes con la aplicación de SFT respecto a RF. A los 80 d el Caab con la RF, en los 3 ecotipos, fue superior al SFT (Cuadro 3).

La Caab total (sumatoria) por E13 y E30 fue igual para ambas fuentes de P. En cambio en E35 el Caab con el tratamiento de RF fue significativamente mayor que el correspondiente de SFT. Los datos demuestran que la eficiencia de la RF como fuente de Ca es tan buena como la del SFT, cuando la roca es incubada en el suelo por un cierto período de tiempo.

La información obtenida parece indicar que existen diferencias entre los ecotipos en su capacidad de tomar Ca proveniente de las dos fuentes usadas. Este comportamiento podría ser de carácter genético y necesita estudiarse para probar su validez.

El crecimiento de las raíces, en términos de LR, debido a la influencia de la RF o del SFT fue variable de acuerdo con los ecotipos y estadísticamente significativos respecto a la LR encontrada en el tratamiento de OP (Cuadro 4). La LR de E13 y E35 a los 55 d fue más favorecida con el uso del SFT que con la RF; los incrementos a favor del SFT fueron del orden del 53,82% en E13 y de 109,45% en E35; no se encontró diferencia significativa entre la RF y el SFT para E30 (Cuadro 4). El comportamiento de la LR a los 80 d es muy diferente, los incrementos notables de la LR por el uso de RF respecto al SFT resultaron ser de 29,00 y 27,39% en E13 y E30, respectivamente, no se encontraron diferencias en E35. Estos datos sugieren que en el Sa usado, el crecimiento radical es estimulado por la presencia de P disponible para la planta, independientemente de la fuente de P.

El mejor comportamiento de la LR con SFT a los 55 d pudiera atribuirse a una mayor disponibilidad de P en el tratamiento con la fuente más soluble; sin embargo, al pasar el tiempo, las condiciones de acidez del suelo pudieron hacer más disponible

Cuadro 2. Fósforo absorbido (mg planta^{-1}) por tres ecotipos de *Centrosema macrocarpum* fertilizados con superfosfato triple y roca fosfórica.

Fósforo	Ecotipos			Media
	13	30	35	
30 días				
0 P	0,21c	0,18 c	0,23 c	0,21 c
RF	2,40 b	0,90 b	1,58 b	1,63 b
SFT	3,99 a	5,39 a	6,76 a	5,38 a
Media CV=25%	2,77	2,16	2,86	
55 días				
0 P	2,21 b	2,10 b	2,63 b	2,33 b
RF	19,47 a	21,36 a	17,69 a	19,51 a
SFT	19,29 a	27,00 a	22,65 a	22,98 a
Media CV=21,6%	13,66	16,82	14,32	
80 días				
0 P	3,49 c	1,55 c	3,02 c	2,69 b
RF	19,05 b	34,44 a	28,42 a	27,30 a
SFT	34,06 a	26,48 b	19,17 b	26,75 a
Media CV=14,3%	18,85	20,82	17,13	
Sumatoria				
0 P	5,91 c	3,83 b	5,87 b	5,20 c
RF	40,92 b	56,71 a	47,69 a	48,44 b
SFT	57,34 a	58,86 a	49,13 a	55,11 a
Media CV=12,76	34,73	39,80	34,23	

Valores en las columnas seguidos por diferente letra son significativos para $P < 0,05$ según Tukey.

Cuadro 3. Calcio absorbido (mg planta⁻¹) por tres ecotipos de *Centrosema macrocarpum* fertilizados con superfosfato triple y roca fosfórica.

Fósforo	Ecotipos			Media
	13	30	35	
30 días				
0 P	1,05 c	0,62 c	1,11 c	0,93 c
RF	10,72 b	5,00 b	11,78 b	9,29 b
SFT	20,23 a	19,99 a	23,16 a	21,13 a
Media	10,67	8,67	12,02	
55 días				
0 P	7,90 c	4,50 c	9,37 c	7,26 c
RF	93,70 a	76,14 b	64,90 b	78,25 b
SFT	81,42 a	110,29 a	102,35 a	98,02 a
Media	61,01	63,64	58,88	
80 días				
0 P	20,46 c	11,01 c	27,74 c	19,74 c
RF	150,70 a	209,15 a	197,53 a	185,79 a
SFT	128,74 b	171,90 b	103,41 b	134,68 b
Media	99,96 c	130,69 a	109,56 b	
Sumatoria				
0 P	29,41 b	16,13 b	38,22 c	
RF	255,12 ab	290,29 aa	274,21 aa	
SFT	230,11 ac	302,18 aa	228,92 bb	
Media	171,64 b	203,00 a	180,46 b	
CV=6,86				

Valores en las columnas o en las filas seguidos por diferente letra son significativos para P<0,05 según Tukey.

Cuadro 4. Longitud radical (cm) de tres ecotipos de *Centrosema macrocarpum* fertilizados con superfosfato triple y roca fosfórica.

Fósforo	Ecotipos			
	13	30	35	Media
55 días				
OP	54,22 c	60,64 b	94,98 b	69,95 c
RF	156,36 b	186,21 a	125,71 b	156,09 b
SFT	240,52 a	200,53 a	263,30 a	234,78 a
Media	150,36	149,13	161,33	
80 días				
OP	120,80 c	81,82 c	184,03 b	128,71 c
RF	317,52 a	278,67 a	244,83 a	280,33 a
SFT	245,67 b	218,78 b	267,84 a	244,09 b
Media	228,00 a	192,91 b	232,23 a	

Valores en las columnas o en las filas seguidos por diferente letra son significativos para $P < 0,05$ según Tukey.

el P de la RF y estimular más ventajosamente el crecimiento radical. Este comportamiento de la LR está de acuerdo con lo encontrado por otros autores, Ramírez y López (2000) trabajando en dos Sa con diferentes variedades de sorgo observaron un menor desarrollo radical cuando no aplicaron P en el suelo más ácido, no así en el suelo también ácido pero de pH más alto. Por otra parte Ramírez (2005) mostró que la LR de tres diferentes cultivares de maíz en un suelo sin aplicación de P fue aproximadamente un tercio o menos de las LR de los maíces fertilizados con RF o SFT, por el contrario, Anghinoni y Barber (1980) encontraron que en condiciones de deficiencia de P la LR se incrementaba. Esta aparentemente contradicción en el comportamiento de las raíces pudiera estar relacionada con el grado de acidez del suelo, el Al disponible y el material genético involucrado en el trabajo.

La eficiencia de las raíces para tomar P del suelo puede ser estimada por los centímetros de raíz necesarios para absorber 1 miligramo de nutriente (LR:Pab). En el suelo donde no se aplicó fosfatos los

valores de la relación LR:Pab fueron muy altos, entre 24,53 y 36,11 a los 55 d y entre 36,62 y 60,93 a los 80 d (Figuras 1 y 2). Estos datos parecen indicar que podrían existir diferencias entre los ecotipos para tomar P en los Sa con bajo contenido de este nutriente; el orden de eficiencia de los ecotipos fue $E13 > E30 > E35$. El comportamiento de la relación LR:Pab en el tratamiento OP parece estar muy influenciada por el bajo nivel de Pab en los ecotipos (Cuadro 3) debido posiblemente a la baja disponibilidad del nutriente en la solución del suelo.

Con la aplicación de RF o SFT los valores de la relación LR:Pab fueron notablemente más bajos que en el tratamiento de OP, lo que significa que la eficiencia de uso de P por centímetro de raíz fue mayor en los tratamientos fertilizados. A los 55 d la relación LR:Pab de E13 y E35 donde se usó RF fue menor que la encontrada con SFT, en cambio en E3 la relación para ambos fertilizantes resultó muy parecida. A los 80 d se encontró que la relación LR:Pab de E3 con SFT fue más baja que con RF, pero en E30 y E35 se observó un comportamiento parecido al de los

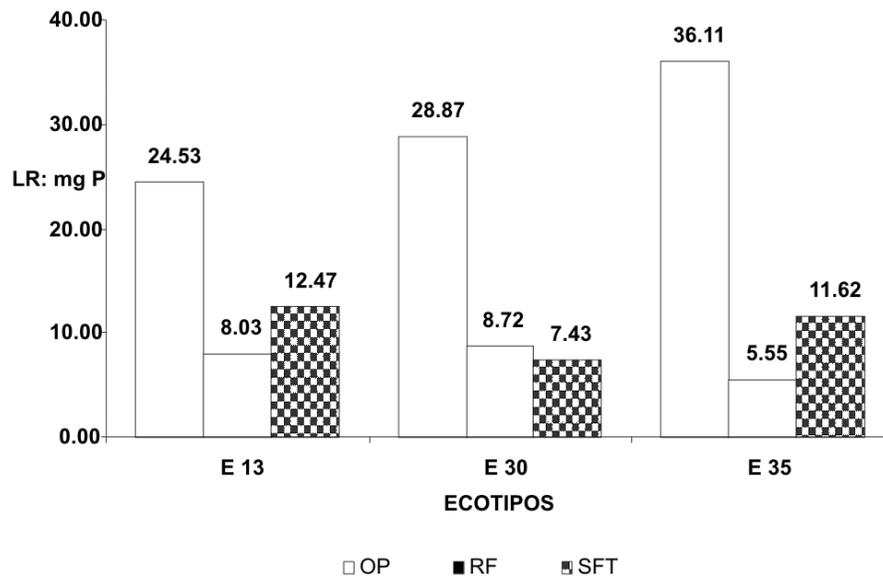


Figura 1. Longitud radical (centímetros) por miligramos de P absorbido (LR:mg P) para tres ecotipos de *Centrosema macrocarpum* a los 55 días de edad.

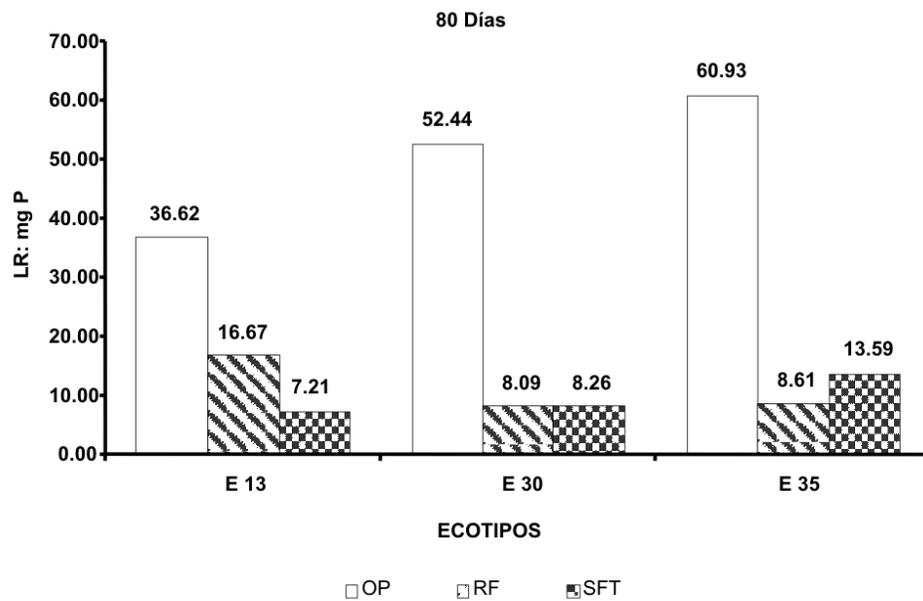


Figura 2. Longitud radical (centímetros) por miligramos de P absorbido (LR:mg P) para tres ecotipos de *centrosema macrocarpum* a los 80 días de edad.

35 d. Esta información sugiere que existen diferencias entre ecotipos en cuanto a la eficiencia de las raíces para tomar P procedente de la RF y del SFT en un Sa.

Una forma de definir la eficiencia de la RF es por medio del índice de la disolución aparente (DAR) la cual se calcula sumando la fracción absorbida por la planta con la fracción residual disponible en el suelo (Ramírez *et al.*, 2001). Los valores de DAR calculados para los ecotipos E30 y E35 fueron muy parecidos, 119 y 110 mg por pote, respectivamente, E13 resultó ser ligeramente menos eficiente, con un valor de 90 mg (Figura 3). La mayor contribución del P al índice DAR correspondió al residual, que fue de 55,5 % para E13, 61,1 % para E30 y 61,8 % para E35. Los niveles más altos de P residual en comparación a los de P absorbido podrían representar una ventaja para los cultivos sucesivos.

La disolución aparente (DA) correspondiente al SFT (Figura 3), en los 3 ecotipos, resultaron superior a la de la RF. En E13 y E30 la DA del SFT duplicó a la DAR encontrada con la RF, pero en E35 el incremento encontrado fue menor. Los valores más altos de DA del SFT se deben a la mayor contribución del P residual como consecuencia de la mayor solubilidad del SFT. Este comportamiento se reflejó en el porcentaje de recuperación de P por el cultivo, el cual varió entre 8,76 y 13,22% para la RF, y entre 10,82 y 13,76 % para el SFT. Estos valores son bajos, especialmente

si se toma en cuenta los niveles altos de P disponible residual en el suelo.

Cuando se aplica RF al suelo la primera reacción corresponde a su disolución, y su grado depende de las propiedades físicas y químicas del suelo y de la propia roca. (Kanabo y Gilkes 1987, Balan y Hedley 1990). El pH es uno de las propiedades del suelo que tiene más influencia sobre la disolución de la RF. Chu, *et al.* (1962) sugirieron que la disolución está relacionada con el óxido de Fe libre en el suelo; Chien *et al.* (1980) encontraron que la disolución de la RF estaba relacionada con el Al activo en el suelo, y recientemente Sukunya *et al.* (2005) señalaron que la disolución de la RF en suelos sulfatos ácidos está fuertemente relacionada con varios factores del suelo, entre ellos el pH, el Al extraído con KCl y el porcentaje de saturación de Al. Algunas de estas propiedades están presentes en el suelo usado en el experimento y ellas posiblemente tuvieron una fuerte influencia sobre la disolución de la RF usada como fertilizante.

La capacidad de producción de MS por los ecotipos fue muy parecida, todos ellos respondieron significativamente a la fertilización fosfatada. La respuesta fue mejor al SFT en las etapas tempranas del desarrollo de las plantas, pero luego la eficiencia de la RF fue tan buena como la de la fuente más soluble. El comportamiento positivo de la RF en la producción

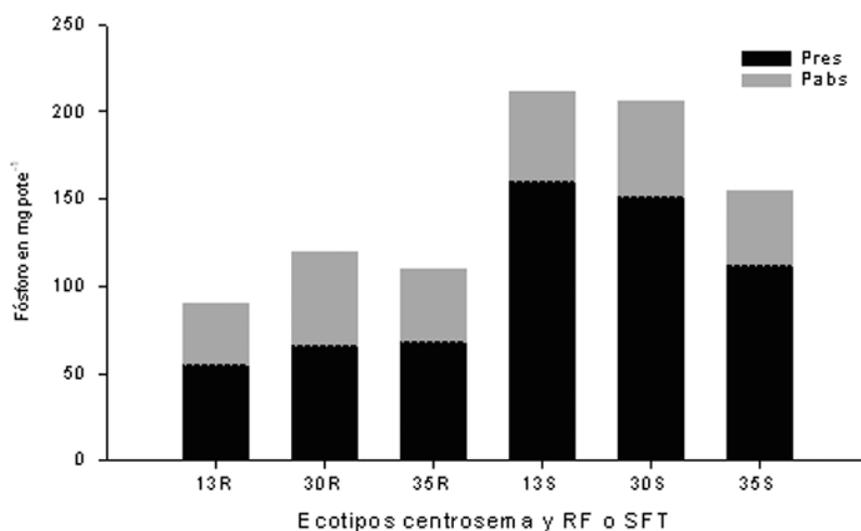


Figura 3. Disolución aparente de la roca fosfórica y del superfosfato triple en un suelo ácido sembrado con *Centrosema macrocarpum*.

de MS se debió no solamente a la utilización del P liberado por la RF en el Sa, sino también al efecto del Ca.

La alta dependencia de la MS de la disponibilidad de P y Ca en el suelo quedó demostrada por los elevados valores de los coeficientes de determinación de las ecuaciones calculadas para 55 d (Figura 4a, 4b) y 80 d (Figura 5a, 5b) los cuales estuvieron por encima de 0,95 lo que significa que se puede explicar el comportamiento de la MS en algo más del 95 % de los casos por la disponibilidad del P o Ca en el suelo. La dependencia de la Pab, Ca y MS de la longitud radical a los 55 d también fue significativa (Figura 4c, 4d), los valores de R^2 calculadas resultaron ser 0,90 para MS, 0,97 para P y 0,74 para Ca. A los 80 ds los coeficientes calculados fueron de 0,76 para MS, 0,58 para P y 0,63 para Ca (Figuras 5d, 5c, 5e). Los datos anteriores demuestran que la dependencia de la MS, Pab y Caab de la LR es menor con el desarrollo de la

planta, por otra parte, las regresiones correspondientes a Pab en ambas fechas tienen un forma lineal, en cambio del de Ca son de carácter logarítmica, esto parece indicar que la absorción de Ca alcanzaría un máximo antes que la Pab.

CONCLUSIÓN

La información obtenida, en el trabajo, permite indicar que puede haber variación entre los ecotipos estudiados en su capacidad para tomar P ó Ca proveniente de la RF ó del SFT triple en Sa. Este comportamiento puede ser atribuido a la capacidad de ellos para contribuir a la solubilización de la RF en el suelo, medida en términos de disolución aparente del fertilizante conformado por el Pab y el P residual en el suelo, por otra parte, hay una clara evidencia que la LR juega un papel relevante sobre la capacidad de los ecotipos para tomar P y Ca proveniente de la RF.

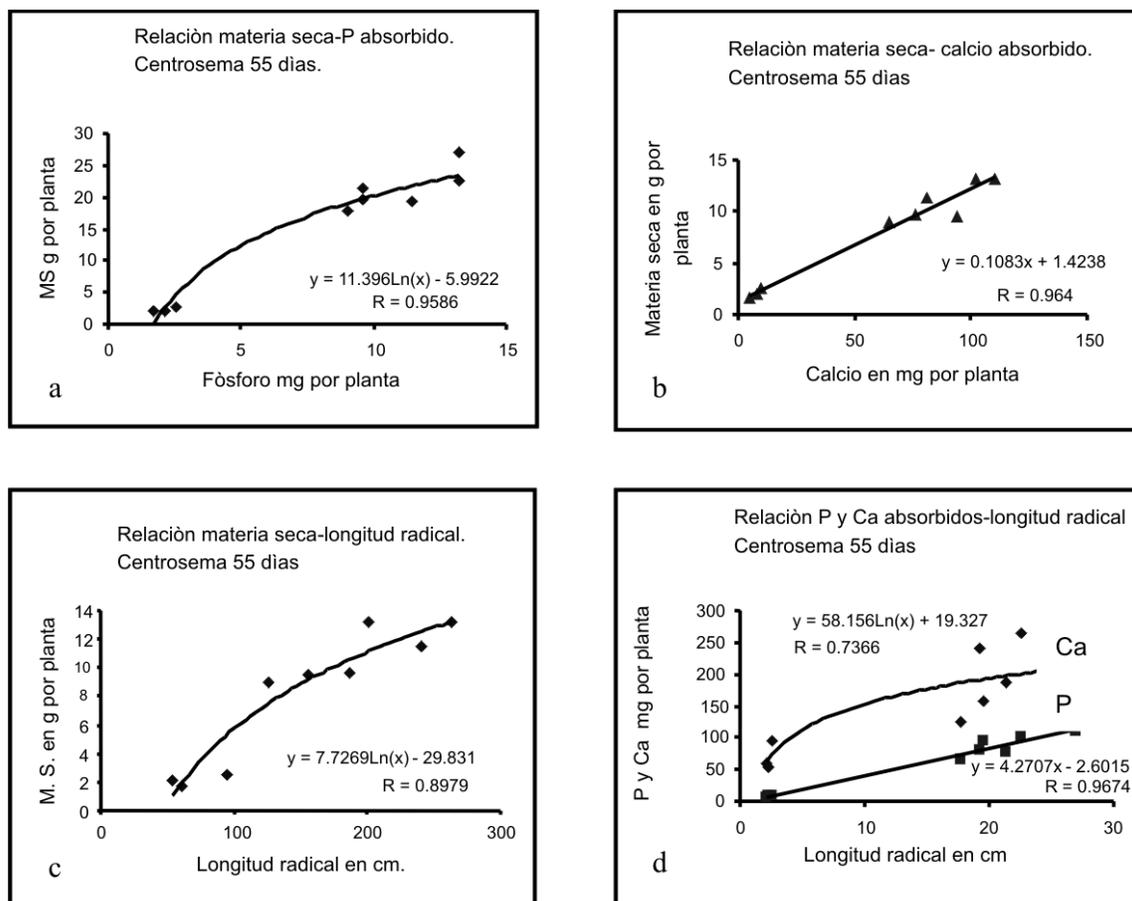


Figura 4. Ecuaciones de regresión calculadas para Ms, Pab, Caab y LR para *Centrosema macrocarpum* a los 55 días de edad.

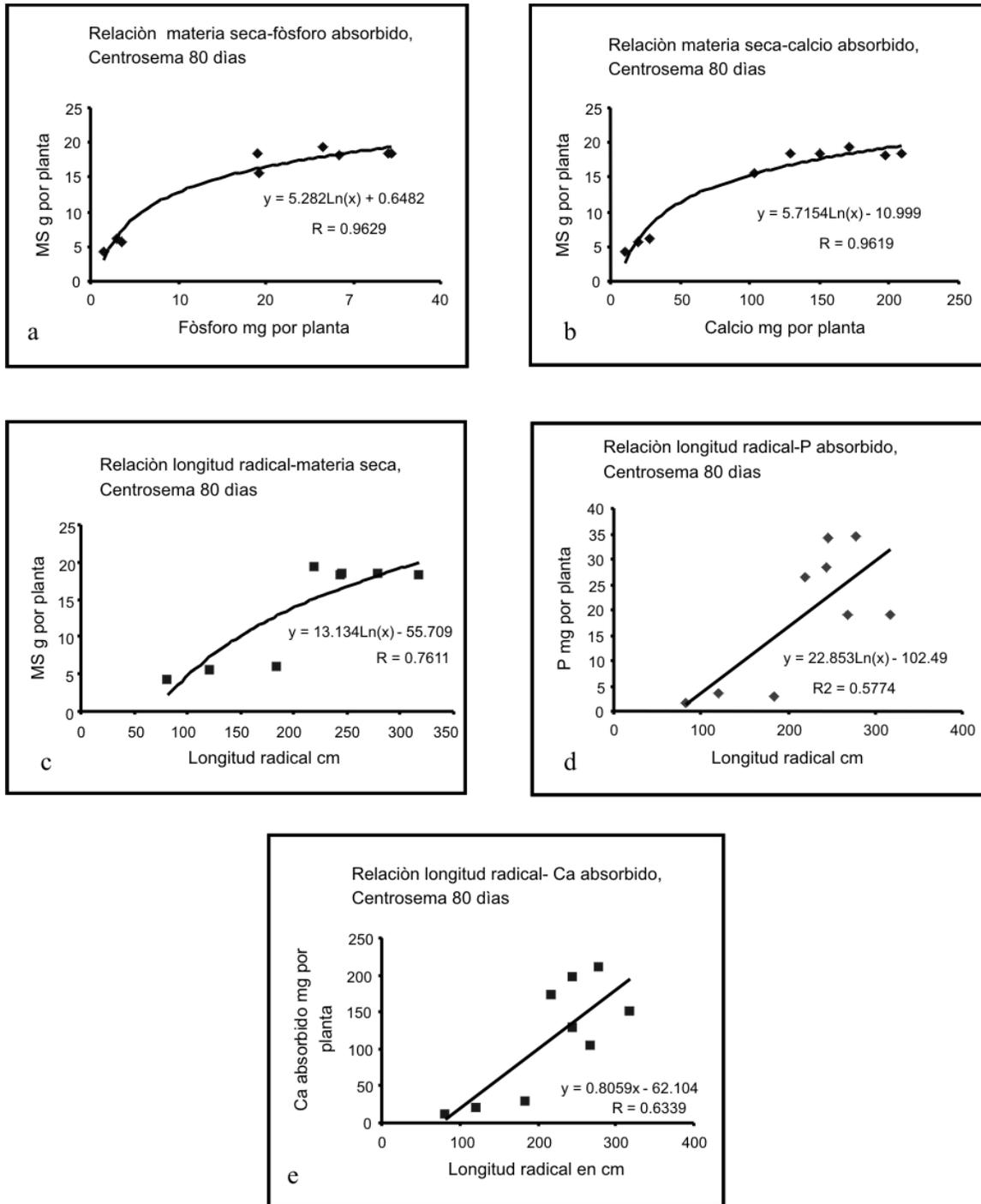


Figura 5. Ecuaciones de regresión calculadas para MS, Pab, Cab y LR para *Centrosema macrocarpum* a los 80 días de edad.

LITERATURA CITADA

- Aguirre M., M. Valdés y M. R. Sylvester-Bradley. 1988. Simbiosis entre rizobios y cuatro leguminosas tropicales adaptadas en Chiapas, México. *Pasturas Tropicales*. 10:18-21
- Anghinoni I. and S. A. Barber. 1980. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agron. J.* 72:685-688.
- Allen E. R., D. W. Ming, L. R. Hosner and D. Henninger. 1995. Modeling transport kinetics in clinoptilolite-phosphate rock system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:248-255.
- Argel P., M. Peralta y E. Pizarro. 1997. Experiencia regional con *Centrosema*. América Central y México. **In:** *Centrosema: Biología, Agronomía y Utilización* (Ed. R. Schultze-Kraft y R. J. Clements) Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia. P:427-456.
- Barnes J.S. and E. J. Kamprath. 1975. Availability of N.C. rock phosphate applied to soils. North Caroline Agricultural Experimental Station. Raleigh, N. C. Tech. Bull. No 229.
- Balan N.S. and M. J. Hedley. 1990. Dissolution of phosphate rock in soil. II. Effect of pH on the dissolution of plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. *Fert. Res.* 24:125-134.
- Cadisch G., R. Sylvester-Bradley and J. Nosberger. 1992. Variation in growth and N₂ fixation within and among *Centrosema* spp. In response to phosphorus supply. *Tropical Grassland*. 26:226-234.
- Casanova E. 1993. Las rocas fosfóricas y su uso agroindustrial en Venezuela. *Apuntes Técnicos, PALMAVEN* 47:653-662.
- Chien S.H., F. Adams, F.F. Khasawneh and J. Henao. 1987. Effects of combination of triple super phosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1656-1658
- Chien S.H., L. A. León and H. R. Tejada. 1980. Dissolution of North Caroline phosphate rock in acid Colombia soils as related to soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:1267-1271.
- Chien S. H. and R. G. Menon. 1995. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fert. Res.* 41:227-234.
- Chien S.H., F. Adams, F. E. Khasawneh and J. Enao. 1987. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1656-1658
- Chien S.H., R. G. Menon, R. W. Taylor and K. R. Siston. 1995. Evaluation of agronomic effectiveness of phosphate rocks for aluminum tolerant soybean cultivar. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26:3133-3144
- Chu C. R., W. W. Moschler and G. W. Thomas. 1962. Rock phosphate transformations in acid soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44:260-294.
- Fohse D, N., Classen and H. A. Jung. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil* 132:261-272.
- Gahoonia T. S., D. Cara and N. E. Nielsen. 1997. Root hairs and phosphorus acquisition of wheat and barley cultivars. *Plant and Soil* 191:19-81-188.
- Hammond L.S., S. H. Chien and G. N. Eastwood. 1986. Agronomic effectiveness of Boyaca phosphate rock in soil with induce phosphorus retention. *Soil Sci. Soc. Ame. J.* 50:1605-1606.
- HRMST. 1980. Hand book on reference methods for soil testing. The Council on Soil Testing and Plant Analysis (rev ed.) University of Georgia, USA. Pp.69-73
- He Z. L., V. Baligar, D. Marteus, K. Ritchey and W. Kemper. 1996. Factor affecting phosphate rock dissolution in acid soil amended with liming materials and cellulose. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1598-1595.
- Kanabo I.A. y R. J. Gilkes. 1987. The rol of soil pH in the dissolution of phosphate rock fertilizers. *Frt. Res.* 12:165-173
- León L. 1991. La experiencia del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes en el uso de

- rocas fosfóricas en América Latina. Rev. Fac. Agron. Maracay. 17:49-66
- López de Rojas I., R. Mercado, A. Sánchez, L. Nieves y H. Wiendenhofer. 1987. Efecto residual de la roca fosfórica en un Ultisol del Estado Cojedes a través de cuatro años de evaluación agronómica. *Agronomía Trop.* 47:185-201.
- Mackey A. D., J.K. Syers, R. W. Tilman and P. E. H. Gregg. 1986. A simple model to describe the dissolution of phosphate rock in soils. *Soil Sci. Soc. Am J.* 50:291-296
- Olsen S., C. Cole, F. Watanabe and L. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium-bicarbonate. *USDA Cir.* 939.
- Paslee D. E., C. A. Anderson, G. R. Burns and C. A. Black. 1962. Estimation of relative value of rock phosphate and superphosphate to plants and different soils *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:556-570.
- Perez M. J., B. Trung y J. C. Fardeau. 1995. Solubilidad y eficiencia de algunas rocas fosfóricas Venezolanas (naturales y modificadas) mediante el uso de técnicas isotópicas. *Agronomía Trop.* 45:483-505.
- Ramirez R. 2005. Eficiencia del uso del fósforo de la roca fosfórica por cultivos de maíz. *INTERCIENCIA* 31:45-49.
- Ramirez R. and M. Lopez. 2000. Agronomic effectiveness of phosphate rock and super phosphate for aluminum-tolerant and non tolerant sorghum cultivars. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 31:1169-1178.
- Ramirez R., S. M. Fernandez and J. Lizaso. 2001. Changes of pH and available phosphorus and calcium in rhizosphere of aluminum tolerant maize germplasm fertilized with phosphate rock. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 32:1551-1565.
- Sukunya Y., A. Tasmee, S. D. Aminata y S. and Y. Russel. 2005. Predicting the dissolution of phosphate rocks in flooded acid sulfate soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:2000-2011.
- Tennant D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Appl. Ecol.* 63:995-1001
- Thomas R. L., R. W. Shear and R. Moyer. 1967. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agronomy J.* 59:240-243.
- Walkley A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Wolf B. 1982. A comprehensive system of leaf analysis and its use for diagnosis crop nutrient status. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 13:1035-1059.
- Zoysa A. K. N., P. Loganathan y M. J. Hedley. 1998. Phosphate rock dissolution and transformation in the rhizosphere of tea (*Camelia chinensis* L.) compared with other plant species. *European J. Soil Sci.* 49:477-486