

EFECTO DE LA RELACIÓN CALCIO:FÓSFORO EN EL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO Y NODULACIÓN DE PLANTAS JÓVENES DE *Acacia mangium* (Willd)¹

José J. Rincón², Yessica Gallardo², Mónica Leal² y Yubisay Rojas²

RESUMEN

Se estudió a nivel de vivero la respuesta en crecimiento y nodulación de *Acacia mangium* (Willd) ante diferentes relaciones de calcio:fósforo en el suelo con la finalidad de aportar información sobre la posibilidad de su establecimiento en los suelos del estado Lara, Venezuela. Se utilizaron las relaciones 10:1, 31:1, 44:1 y 133:1 a partir de suelo encalado o sin encalar combinado en un arreglo factorial con aplicación o no de fósforo. Los cuatro tratamientos fueron evaluados en un arreglo factorial y un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones a los 45, 90 y 135 días después de la siembra. El tratamiento con la relación Ca:P de 10:1 (suelo sin encalar y con aplicación de fósforo) a los 90 días fue superior ($P \leq 0,05$) al resto de los tratamientos con 35,25 cm/planta, 0,23 g/planta y 17,50 nódulos/planta para las variables de longitud de raíz principal, materia seca de raíces y nodulación, respectivamente. A los 135 días el mismo tratamiento superó ($P \leq 0,05$) al resto de los tratamientos con medias de 27,00 cm/planta, 39,50 cm/planta, 2,32 g/planta, 1,86 g/planta, 26,50 nódulos/planta, respectivamente para las variables de altura de planta, longitud de raíz, materia seca de la parte aérea y raíz, y nodulación. Se concluye que una relación Ca:P cercana a 10:1 representa la más favorable para el crecimiento y nodulación en *A. mangium* y que se produce un efecto negativo sobre estas variables a medida que esta relación aumenta. Así mismo, el establecimiento de la planta pudiera estar restringido en los suelos calcáreos del estado Lara si no se considera la aplicación de fósforo.

Palabras clave adicionales: Leguminosas forrajeras, crecimiento de raíz, suelos calcáreos, estado Lara

ABSTRACT

Effects of the soil calcium:phosphorus relationship on growth of young plants of *Acacia mangium* (Willd)

The growth and nodulation rate of *Acacia mangium* (Willd) under nursery conditions was evaluated at four calcium:phosphorus relationships (10:1, 31:1, 44:1 and 133:1) to study the possibility of establishing the plant on the soils of Lara State, Venezuela. The mentioned relationships were obtained by using limed and non limed soil in combination with or without phosphorus fertilization to produce a factorial arrangement of four treatments in a complete randomized design with four replications. Evaluations were performed at 45, 90 and 135 days after sowing. The relation 10:1 (non limed soil, fertilized with phosphorus) at 90 days was superior ($P \leq 0.05$) to the rest of treatments with 35.25 cm/plant, 0.23 g/plant and 17.50 nodule/plant respectively for the variables of root length, dry matter of root, and nodulation. At 135 days, the same treatment was superior ($P \leq 0.05$) with 27.00 cm/plant, 39.50 cm/plant, 2.32 g/plant, 1.86 g/plant, 26.50 nodule/plant respectively for the height of the plant, root length, dry matter of aerial part and root, and nodulation. The relationship 10:1 resulted in higher growth and nodulation of *A. mangium* and a negative effect was produced at increased relationships. It seems that the establishment of the plant in the calcareous soils of Lara State may need a precise phosphorus fertilization.

Additional key words: Forage legumes, root growth, calcareous soil, Lara State

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de las leguminosas arbóreas se dificulta debido a su lento crecimiento inicial y se afecta cuando el suelo presenta desbalances entre elementos fundamentales para el

crecimiento, tales como el fósforo y el calcio, lo cual puede limitar la relaciones simbióticas entre las plantas y los rizobios presentes en el suelo.

Acacia mangium Willd es una leguminosa arbórea nativa de Australia, Indonesia y Nueva Guinea, y muy diseminada en la región tropical

Recibido: Septiembre 9, 2002

Aceptado: Abril 15, 2003

¹ Proyecto financiado por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la UCLA

² Dpto. Producción Animal, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. email: jrincon@ucla.edu.ve

Duke (1983). Mackey (1996) señala que esta planta puede crecer en suelos marginales (ácidos) por lo cual es muy utilizada para mejorar la fertilidad del suelo de pasturas o campos en barbecho. Crece en suelos bien drenados con pH de 4,5 a 6,5. Umali-García et al. (1988), al evaluar el efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium* sobre el crecimiento en la etapa de vivero de *Acacia mangium*, encontraron que el mayor crecimiento de la parte aérea y raíces ocurrió en un suelo con pH 6,5 en comparación con otro de pH 5,8.

Diversos autores (Manubag et al., 1995; Razz et al., 1995; Aparicio-Tejos et al., 2000) han señalado la importancia del fósforo en las leguminosas. Este elemento es indispensable para el crecimiento de las raíces y para el proceso de nodulación tanto en pH ácido como alcalino (Hernández y Focht, 1986).

Por otra parte, Aparicio-Tejos et al. (2000) señalan que el calcio es abundante en la mayoría de los suelos y rara vez se comporta como un factor limitante, salvo en suelos ácidos donde puede ser necesario el aporte de sales cálcicas. En tal sentido, Arun-Prasad et al. (1990), observaron que aplicaciones de carbonato de calcio en dosis bajas produjeron incrementos de la materia seca en *Acacia* spp., aunque en mayores dosis redujeron la altura inicial de las plantas, y Norris (1958), encontró que el calcio contribuía a una buena nodulación siempre que se encontrara en niveles bajos. La adición de calcio actúa como inhibitorio por causar un efecto detrimental en las poblaciones de *Rhizobium* presumiéndose un antagonismo con la absorción del magnesio.

Pérez et al. (1996) evaluaron el efecto de la fertilización sobre la nodulación y crecimiento radicular en *Acacia mangium* en condiciones de vivero y reportaron que niveles de calcio de 4000 ppm resultaron en detrimento del número de nódulos. Similares resultados obtuvieron Crespo y Curbelo (1992) al trabajar con la técnica de adición de nutrientes en leguminosas tropicales.

En la presente investigación se estudió la posibilidad de utilizar *Acacia mangium* como planta forrajera en el estado Lara, donde predominan suelos calcáreos, ya que se ha observado que plantaciones de esta especie,

establecidas en suelos con contenidos de calcio mayores a 2000 ppm presentan menor crecimiento en comparación con leguminosas arbóreas autóctonas luego de dos años de establecimiento en el campo de introducción de especies forrajeras del Decanato de Agronomía de Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Barquisimeto, Venezuela. El objetivo fue determinar el efecto que producen los elementos calcio y fósforo, en diferentes relaciones en el suelo, sobre el crecimiento de la parte aérea y radicular así como la nodulación de la *Acacia mangium* durante los primeros 135 días de desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó a plena exposición entre los meses de mayo y septiembre de 2001 en el área de vivero del núcleo Tarabana de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), ubicado a 10° 00' 53'' N y 69° 17' 06'' W a una altura de 492 m sobre el nivel del mar.

Se seleccionaron semillas de *Acacia mangium* tomando en cuenta su uniformidad en cuanto al tamaño, forma y condición física y se colocaron en agua hirviendo por 5 segundos, con lo cual se logró aumentar la germinación al 96 %.

La siembra se realizó en bolsas de polietileno de 40 cm de altura las cuales habían sido llenadas un mes antes con el medio de propagación. El medio consistió en una mezcla de suelo, cernido en malla de 8 x 8 mm, y cascarilla de arroz en proporción 19:1 en peso (equivalente aproximadamente a 2:1 en volumen). Esta preparación permitió una buena aireación y evitó compactación del suelo. Las características físicas y químicas del suelo aparecen en el Cuadro 1.

Se llenó un total de 48 bolsas utilizando en cada una 6 kg de la mezcla. Las bolsas se separaron en dos lotes denominados: SE (suelo encalado) y SSE (suelo sin encalar). A las 24 bolsas del lote SE, se les agregó 16,05 g de cal, con lo cual se llevó el contenido de calcio en el suelo a aproximadamente 2000 ppm. Las 24 bolsas del lote SSE se mantuvieron con el contenido de calcio original del suelo (461 ppm, Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis mecánico y químico del suelo utilizado.

	%	%	%	Clase
	Arena	Limo	Arcilla	Textural
	50	32	18	Franco
Profundidad (cm)	0 – 40			Niveles
Reacción a pH (1:2)	5,2			Bajo
Salinidad CE (dS/m)	0,09			Muy Bajo
Materia orgánica (%)	2,0			Bajo
Fósforo (ppm)	15			Medio (Olsen)
Potasio (ppm)	93			Bajo
Calcio (ppm)	461			Bajo
Magnesio (ppm)	53			Bajo

Sin toxicidad de aluminio cambiabile

Fuente: Laboratorio de Suelos, Decanato de Agronomía, UCLA

Un mes después de la aplicación de calcio se realizó la aplicación de fósforo. Para ello se subdividieron los lotes SE y SSE creando los sublotos SP (sin fertilización con fósforo quedando el suelo con sus niveles originales de 15 ppm, Cuadro 1) y CP (fertilizado con 0,39 g/bolsa de fosfato diamónico para llevarlo a 45 ppm P).

Adicionalmente, se aplicó fertilización básica de N (úrea), K y Mg (sulfato doble de potasio y magnesio), tomando la precaución de ajustar los niveles de nitrógeno en los tratamientos que aportaron este elemento en el fosfato diamónico.

El experimento tuvo un diseño completamente al azar con dos niveles de fósforo (CP y SP) y dos de calcio (SE y SSE) que se conjugaron en un arreglo factorial de tratamientos originando los siguientes cuatro niveles de relación Ca:P:

- SSE-CP con una Ca:P = 10:1
- SSE-SP con una Ca:P = 31:1
- SE-CP con una Ca:P = 44:1
- SE-SP con una Ca:P = 133:1

Para cada tratamiento se realizaron 12 observaciones, colectando en cada oportunidad cuatro plantas (repeticiones) en muestreos realizados a los 45, 90 y 135 días después de la siembra.

Las plantas fueron llevadas al laboratorio donde se separó la parte aérea y las raíces para luego medir las siguientes variables:

- Altura de la planta (ALTA). Medida desde el cuello de la planta hasta el ápice de la última hoja.
- Longitud de la raíz principal (LONR). Se midió desde el cuello de la planta hasta la caliptra.

- Producción de materia seca aérea (MSA) y materia seca radicular (MSR). Medida luego de secar las muestras a 60 °C en una estufa de flujo continuo durante 48 horas.

- Número de nódulos (NNOD). Se cuantificó tomando como criterio de selección aquellos de color rosado, esponjosos y túrgidos.

A los resultados se les realizó análisis de la varianza y prueba de medias a través del programa estadístico SAS (Cary, NC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta

A los 45 y 90 días después de la siembra no hubo diferencias en la altura de las plantas para los diferentes tratamientos, pero sí a los 135 días (Cuadro 2). En este momento las plantas del tratamiento SSE-CP presentaron el mayor crecimiento aéreo con un valor de 27,00 cm/planta, seguido por el tratamiento SSE-SP, el cual a su vez superó a los otros dos tratamientos que no presentaron diferencias significativas entre sí. Hasta los 90 días las plantas alcanzaron una altura promedio de aproximadamente 11 cm, lo cual representa un crecimiento bastante lento si se compara con los resultados de Umali-García et al. (1988) quienes encontraron valores de hasta 25,26 cm a esa edad en esta misma especie. Arriojas (1986) señala que las leguminosas pueden desarrollarse a niveles de hasta 25 ppm de fósforo en el suelo; sin embargo, en la presente investigación con tratamientos de 45 ppm de P y una relación Ca:P de 44:1 (SE-CP) no se observó una buena respuesta al crecimiento de *A. mangium*; este tratamiento presentó valores sin diferencias significativa entre los 90 y 135 días, con alturas medias de 9,88 y 10,00 cm/planta, reflejando muy poco crecimiento en ese período. Los tratamientos SSE-CP y SSE-SP mostraron incrementos significativos ($P \leq 0,05$) de la altura entre cada muestreo, lo cual no se observó en los tratamientos SE-CP y SE-SP a partir de los 90 días de crecimiento. Resultados similares obtuvieron Arun-Prasad et al. (1990), al observar que aplicaciones de carbonato de calcio redujeron la altura inicial en *Acacia* spp. pero dosis bajas del producto favorecieron el incremento en altura y producción de materia

seca, por lo que podría inferirse que la conjugación del fósforo y calcio, en una relación

apropiada en el suelo, favorecerían el crecimiento de *A. mangium*.

Cuadro 2. Altura (cm/planta) de *Acacia mangium* en tres edades y diferentes relaciones Ca:P en el suelo

Tratamiento (Relación Ca:P)	Edad (días)		
	45	90	135
SE-SP (133:1)	6,00 aB	11,00 aA	11,25 cA
SE-CP (44:1)	6,13 aB	9,88 aA	10,00 cA
SSE-SP (31:1)	5,25 aC	12,13 aB	18,25 bA
SSE-CP (10:1)	5,50 aC	11,00 aB	27,00 aA

Medias con igual letra minúscula en la misma columna o mayúscula en la misma fila no presentan diferencias significativas entre sí ($P \leq 0,05$)

Longitud de la raíz principal

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) a los 45 días para la longitud de la raíz (Cuadro 3). El menor valor lo presentó el tratamiento SE-SP, y no hubo diferencias entre el resto de los tratamientos. En este sentido, se sugiere que el establecimiento de *A. mangium* en el suelo con una relación calcio-fósforo de 133:1 habría afectado el desarrollo inicial de la raíz. A

los 90 y 135 días el tratamiento SSE-CP con una relación Ca:P igual a 10:1, presentó medias de longitud radicular (35,25 y 39,50 cm/planta) estadísticamente superiores ($P \leq 0,05$) al resto de los tratamientos, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Esto pudiera indicar que las demandas de fósforo para el crecimiento de la raíz sean mayores a partir de los 45 días.

Cuadro 3. Longitud (cm/planta) de la raíz de *Acacia mangium* en tres edades y diferentes relaciones Ca:P en el suelo

Tratamiento (Relación Ca:P)	Edad (días)		
	45	90	135
SE-SP (133:1)	9,75 bC	19,75 bB	25,25 bA
SE-CP (44:1)	12,00 aB	18,50 bA	19,15 bA
SSE-SP (31:1)	13,00 aC	19,33 bB	24,50 bA
SSE-CP (10:1)	11,25 abC	35,25 aB	39,50 aA

Medias con igual letra minúscula en la misma columna o mayúscula en la misma fila no presentan diferencias significativas entre sí ($P \leq 0,05$)

Manubag et al. (1995) señalan que la fertilización con fósforo favoreció el crecimiento de plántulas de *A. mangium*, mientras que Pérez et al. (1996), al evaluar las respuestas de esta planta a la fertilización, encontraron que la mayor longitud radicular fue de 34,18 cm/planta a los 75 días después de la siembra. En la presente investigación la mayor longitud de raíz se obtuvo en el tratamiento con una relación Ca:P de 10:1 (SSE-CP) con valores de 35,25 cm/planta a los 90 días y 39,50 cm/planta a los 135 días. Esto podría destacar la posibilidad de establecer la *Acacia mangium* en suelos con una relación Ca:P cercana a 10:1.

Investigaciones realizadas por Arun-Prasad et al. (1990) y Rincón (2000) indican que niveles

altos de calcio disminuyeron ligeramente el crecimiento de *Leucaena leucocephala* y *Acacia* sp., lo cual concuerda con los resultados observados ya que los tratamientos con relaciones Ca:P superiores a 31:1 afectaron el crecimiento radicular, tal vez por la posibilidad de fijarlo como fosfato de calcio. En este sentido, Fassbender y Bornmisza (1994) y Bravo (2000) señalan que el exceso de calcio en el suelo puede precipitar al fósforo como fosfatos cálcicos, lo cual es uno de los problemas principales de la fertilización con fosfatos en suelos calcáreos. Estos fosfatos cambian rápidamente a formas que no son aprovechables por las plantas como fosfatos dicálcicos y tricálcicos pocos solubles (apatitas) que limitan la absorción del ácido

fosfórico ($H_2PO_4^-$).

Srivastava (1993) señala que esta especie debe permanecer en el vivero hasta alcanzar una altura de 25 a 40 cm, lo cual se corresponde con la altura de 27 cm alcanzada en el tratamiento SSE-CP a los 135 días. Para ese momento la longitud de la raíz principal era de 39,50 cm lo cual justificó el trasplante a esta edad y no antes ya que la longitud de la raíz principal no excedía aún la altura de la bolsa utilizada.

Materia seca aérea

En el Cuadro 4 se observa que no hubo diferencias entre los tratamientos en los 2 primeros muestreos (45 y 90 días de edad de la planta) pero sí se encontraron diferencias ($P \leq 0,05$) a los 135 días, observándose el mayor promedio en el tratamiento SSE-CP con un valor de 2,32 g/planta de MSA, seguido del tratamiento SSE-SP con un promedio de 1,05 g/planta y luego por los tratamientos SE-SP y SE-CP.

Cuadro 4. Materia seca aérea (g/planta) de *Acacia mangium* en tres edades y diferentes relaciones Ca:P en el suelo

Tratamiento (Relación Ca:P)	Edad (días)		
	45	90	135
SE-SP (133:1)	0,05 aB	0,18 aA	0,25 cA
SE-CP (44:1)	0,05 aB	0,20 aA	0,20 cA
SSE-SP (31:1)	0,04 aC	0,23 aB	1,05 bA
SSE-CP (10:1)	0,03 aC	0,29 aB	2,32 aA

Medias con igual letra minúscula en la misma columna o mayúscula en la misma fila no presentan diferencias significativas entre sí ($P \leq 0,05$)

Al comparar los resultados para las diferentes edades, se observa que los tratamientos SE-SP y SE-CP se comportaron estadísticamente iguales a los 90 y 135 días, presentando un incremento de MSA entre los 45 y 90 días. Esto destaca el poco efecto del encalado sobre esta variable. En cuanto a SSE-SP y SSE-CP, se evidencia un aumento continuo de MSA durante el ensayo, diferenciándose éstos entre sí para los 135 días.

En este ensayo, donde el suelo presentó un pH de 5,2 y niveles de 461 ppm de Ca, se encontró respuesta a la fertilización con fósforo hasta 45 ppm y no se encontró respuesta favorable a aplicaciones de calcio hasta 2000 ppm, lo que refuerza lo expresado por Aparicio-Tejos et al. (2000) en el sentido de la importancia que representa el fósforo para esta planta.

Al comparar esta variable con la altura de la planta, se puede apreciar que existe igual comportamiento de ambas para los diferentes tratamientos evaluados.

Umali-García et al. (1988) obtuvieron pesos de materia seca aérea de 0,72 g/planta a pH 5,8 y 1,46 g/planta a pH 6,5 a los 90 días de edad; en la presente investigación los promedios alcanzados fueron menores con valores de materia seca aérea que variaron entre 0,18 y

0,29 g/planta a los 90 días.

Los resultados no concuerdan con los obtenidos por Trigoso y Fassbender (1973) con referencia al incremento de la materia seca de las plantas y el efecto positivo del encalado, en un suelo de reacción fuertemente ácida, ni con los de Barrientos et al. (1994) quienes encontraron que los efectos del encalado fueron favorables para contrarrestar la acidez del suelo y obtuvieron respuestas positivas de la planta a la aplicación de 4 t/ha de cal.

Materia seca radicular

A los 45 días no hubo diferencias entre tratamientos; a partir de los 90 días el tratamiento SSE-CP fue superior ($P \leq 0,05$) al resto de los tratamientos, siendo éstos estadísticamente iguales entre sí a los 135 días (Cuadro 5).

Al comparar los resultados entre las edades dentro de cada tratamiento, se observan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para todos los muestreos del tratamiento SSE-CP, presentando un incremento constante en la acumulación de MSR. Para los tratamientos SSE-SP y SE-CP, cuyas relaciones Ca:P eran de 31:1 y 44:1 respectivamente, se observó una disminución de la tasa de crecimiento a entre los

90 y 135 días. El tratamiento SE-SP, no presentó diferencias significativas entre las diferentes edades. En este tratamiento las raíces

se encontraron con pocas ramificaciones, lo que puede explicar la poca ganancia de materia seca radicular.

Cuadro 5. Materia seca radicular (g/planta) de *Acacia mangium* en tres edades y diferentes relaciones Ca:P en el suelo

Tratamiento (Relación Ca:P)	Edad (días)		
	45	90	135
SE-SP (133:1)	0,05 aA	0,09 cA	0,16 bA
SE-CP (44:1)	0,05 aB	0,16 bA	0,20 bA
SSE- SP (31:1)	0,08 aB	0,19 bA	0,20 bA
SSE-CP (10:1)	0,04 aC	0,23 aB	1,86 aA

Medias con igual letra minúscula en la misma columna o mayúscula en la misma fila no presentan diferencias significativas entre sí ($P \leq 0,05$)

Los resultados muestran la mejor respuesta en el tratamiento SSE-CP (relación Ca:P de 10:1).

Se puede observar que no fue suficiente elevar el contenido de fósforo a 45 ppm, sin tomar en cuenta la relación Ca:P, ya que en el tratamiento SE-CP no se obtuvieron resultados favorables a su aplicación al establecerse una relación Ca:P de 44:1. Así mismo, el tratamiento SSE-SP cuya relación Ca:P fue de 31:1 parece indicar que ya es inhibitoria para la absorción de fósforo.

Los promedios de peso seco de las raíces en la

presente investigación concuerdan con los encontrados por Umali-García et al. (1988), quienes señalan valores a los 90 días de 0,19 g/planta a pH 5,8 y 0,47 g/planta a pH 6,5.

Número de nódulos contados (NNOC):

El tratamiento SE-SP fue estadísticamente inferior ($P \leq 0,05$) al resto de los tratamientos a los 45 días ya que no presentó nódulos en la raíz (Cuadro 6). A los 90 días el tratamiento SSE-CP fue superior ($P \leq 0,05$) con 17,50 nódulos/planta, seguido por los tratamientos SSE-SP y SE-CP.

Cuadro 6. Número de nódulos por planta de *Acacia mangium* en tres edades y diferentes relaciones Ca:P en el suelo

Tratamiento (Relación Ca:P)	Edad (días)		
	45	90	135
SE-SP (133:1)	0,00 cB	2,00 cA	3,75 cA
SE-CP (44:1)	0,75 bA	5,25 bA	3,25 cA
SSE-SP (31:1)	2,50 aA	7,00 bA	8,75 bA
SSE-CP (10:1)	2,00 aC	17,50 aB	26,50 aA

Medias con igual letra minúscula en la misma columna o mayúscula en la misma fila no presentan diferencias significativas entre sí ($P \leq 0,05$)

A los 135 días no existieron diferencias entre los tratamiento con encalamiento (SE-SP y SE-CP) y se encontraron diferencias ($P \leq 0,05$) entre éstos y los tratamientos SSE-SP y SSE-CP, siendo este último el de mayor promedio con un valor de 26,50 nódulos/planta.

Se puede observar que la nodulación de *A. mangium* se vio afectada favorablemente en el suelo con una relación Ca:P de 10:1. Parece que las relaciones mayores a ésta tienen efectos negativos sobre la simbiosis, ya que en la medida

que la relación Ca:P se incrementó hubo menor número de nódulos, lo cual es evidente a partir de los 45 días. Esto no concuerda con los resultados de Pérez et al. (1996) quienes encontraron que aplicaciones de calcio a *A. mangium* en vivero no afectaron el número de nódulos obtenidos.

En la presente investigación se observaron promedios de 17,50 nódulos/planta y 26,50 nódulos/planta, respectivamente, a los 90 y 135 días después de la siembra en el tratamiento SSE-CP, observándose poca respuesta en el resto de los

tratamientos evaluados para esta variable. Resultados similares fueron obtenidos por Rincón (2000), cuando estudió la nodulación con cepas naturales en leucaena, en un suelo con 1032 ppm de Ca y 20 ppm de P (Ca:P de 52:1), con resultados desfavorables para la nodulación. Lo anterior refuerza lo planteado por Norris (1958) en el sentido de que el calcio puede afectar negativamente las cepas de *Rhizobium*.

Los resultados permiten inferir la dificultad que se presenta en el establecimiento de *A. mangium* en suelos con un contenido de calcio entre 461 ppm y 2000 ppm, si no se considera la aplicación de fósforo de manera de establecer una relación Ca:P cercana a 10:1 para favorecer la nodulación.

Barrientos et al. (1994) observaron que las aplicaciones de fósforo tienen un efecto positivo sobre la biomasa de nódulos presentando incrementos cuadráticos con la dosis de fósforo.

Al relacionar el número de nódulos con el crecimiento de la planta (MSA y MSR) en el tratamiento SSE-CP (Figura 1), se observa una tendencia a disminuir en la medida en que las plantas crecieron, pues se observó que cuando la tasa de acumulación de MSA y MSR fue de 0,26 y 0,19 g/planta, respectivamente, entre los 45 y 90 días, el incremento en el número de nódulos fue de 15,50 nódulos/planta y cuando la tasa de acumulación de materia seca entre los 90 y 135 días fue de 2,06 y 1,63 g/planta, el incremento en el número de nódulos fue de apenas 9,00 nódulos/planta, lo cual evidencia que en la medida en la planta activa su crecimiento foliar y radicular, el número de nódulos se ve disminuido. Esto concuerda con otras investigaciones realizadas por Rincón (2000) quien observó la misma tendencia en leucaena, señalando que los cambios observados en el número de nódulos pueden ser atribuidos al balance energético de la planta, por la dependencia de los fotosintetizados para su funcionamiento. En este sentido, Bartholomeu, (1972) plantea que el proceso simbiótico está estrechamente relacionado con la magnitud total de crecimiento alcanzado por la planta huésped, lo cual puede ser consecuencia de la producción de fotosintetizados. Aparicio-Tejos et al. (2000) señalan que la energía necesaria para la nodulación y fijación de nitrógeno proviene de

la fotosíntesis y que el compuesto carbonatado más importante para los nódulos es la sacarosa por lo que si ésta no es aportada por la planta el número de nódulos se reduce, aunque también puede suceder un proceso autorregulatorio en la formación de nuevos nódulos, dependiendo del desarrollo de la planta.

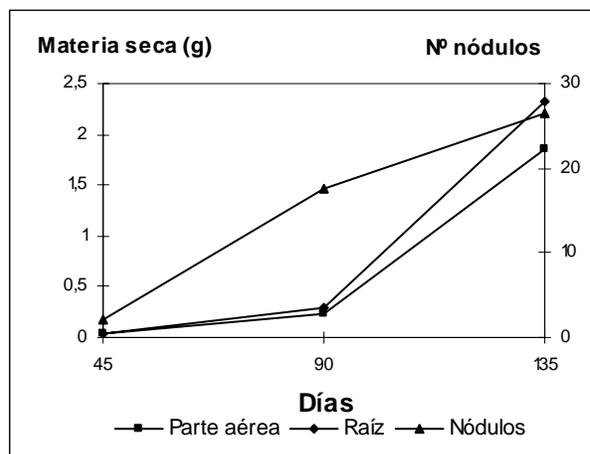


Figura 1. Relación entre el número de nódulos y la producción de materia seca aérea y radicular en *Acacia mangium* en el tratamiento SSE-CP

CONCLUSIONES

Se alcanzaron los mayores valores de altura de planta, longitud radicular y materia seca radicular y foliar en *Acacia mangium* al establecer una relación Ca:P de 10:1 en el suelo.

La fertilización con fósforo es importante para lograr mayor crecimiento en esta planta, principalmente el desarrollo radicular y nodulación. El establecimiento de la planta pudiera estar restringido en algunos suelos del estado Lara si no se considera la aplicación de fósforo, hasta establecer una relación Ca:P cercana a 10:1. Relaciones iguales o superiores a 31:1 no permitieron una buena respuesta en el crecimiento de la planta en suelo de pH 5,2.

En la medida que la relación Ca:P se incrementa existe un efecto negativo para la simbiosis. Así mismo, cuando la planta acelera su crecimiento, la tasa de formación de nódulos disminuye.

LITERATURA CITADA

1. Aparicio-Tejos, P., C. Arrese-Igor y M. Becama. 2000. Fijación de nitrógeno. *In: J. Azcon-Bietos y M. Talón (eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal.* Mc Graw Hill. Barcelona.
2. Arriojas, L. 1986. *Leucaena leucocephala* como planta forrajera. *Revista Alcance (Facultad de Agronomía, UCV)* 31:169-192.
3. Arun-Prasad, N., T. K. Kapoor, P. Khatin, J. Chouham y A. Bhowmick. 1990. Effect of salts on the soil reaction and growth and dry matter yield of *Leucaena leucocephala* and *Acacia auriculiformis* in pot cultures. *Indian Forests* 116 (3): 227-232.
4. Barrientos, L., R. Campillo y E. Méndez. 1994. La acidez del suelo y su efecto sobre la fijación simbiótica de nitrógeno en leguminosas forrajeras. *Agricultura Técnica* 54 (2): 118-123.
5. Bartholomeu, W. 1972. El nitrógeno del suelo: proceso de abastecimiento y requerimientos de los cultivos. *Internacional Soil Fertility: Evaluation and Improvement Program. Boletín Técnico N° 6.* Carolina del Norte. 97 p.
6. Bravo, S. 2000. El fósforo en el suelo. Aspectos básicos de química de suelos. Ediciones de la Universidad Nacional de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ). Barinas. Venezuela. 249 p.
7. Crespo, G y F. Curbelo. 1992. Determinación de los nutrientes limitantes para el establecimiento de leguminosas en dos suelos ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 26: 217-222.
8. Duke, J. 1983. *Acacia mangium* Willd. *Handbook of Energy Crops.* Winrock International. <http://www.winrock.org/forestry/acaciamangium/htm>. Consulta del 15/04/03.
9. Fassbender, H. y E. Bornmisza. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Edit. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
10. Hernández, B. y D. Focht. 1986. Factores limitantes de la fijación de Nitrógeno en el Guandú (*Cajanus cajan*) en suelos ácidos. *Ceiba* 27 (1): 61 -80.
11. Mackey, M. 1996. *Acacia mangium*: Un árbol importante para llanuras tropicales. Winrock International 38. Winrock Drive. <http://www.winrock.org/floresty/facnet.htm>. Consulta del 15/04/03.
12. Manubag, J., B. Laureto, J. Nicholls y P. Cannon. 1995. *Acacia mangium* response to nitrogen and phosphorus in the Philippines. Winrock International Institute for Agricultural Development. Morrilton, AR. pp. 32-35.
13. Norris, D. 1958. Rhizobium needs magnesium not Calcium. Commonwealth Australia. Commonwealth and Industrial Research Organization. *Nature* 182: 734-736.
14. Pérez, J., T. Clavero, R. Razz, Z. García, L. González y C. Rincón. 1996. Efecto de la fertilización sobre la nodulación y crecimiento radicular en *Acacia mangium* Willd en condiciones de vivero. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 13: 161-167.
15. Razz, R., T. Clavero, J. Pérez, L. González y J. Giurdanela. 1995. Efecto de la fertilización con N y P sobre la nodulación de dos ecotipos de *Leucaena leucocephala*. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 12: 187-192.
16. Rincón, J. 2000. Efecto de la inoculación de cepas nativas e introducidas de *Rhizobium* sp. sobre la producción de materia seca y nitrógeno en *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit). Tesis. Universidad del Zulia.

Maracaibo. 101 p.

17. Srivastava, P. 1993. Silvicultural practices. *In*: K. Awang y D. Taylor (eds.). *Acacia mangium* Growing and Utilization. Winrock International and FAO. Bangkok. pp. 113-147.
18. Trigoso, R. y H. Fassbender. 1973. Efecto de aplicaciones de Ca²⁺ Mg²⁺, P⁵, Mo y B sobre la producción y fijación de nitrógeno de cuatro leguminosas tropicales. *Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas* 23 (1): 172-180.
19. Umali-García, M., J. Libuit y R. Baggayan. 1988. Effects of *Rhizobium* inoculation on growth and nodulation of *Albizia falcataria* (L.) Fosh. and *Acacia mangium* Willd in the nursery. *Plant and Soil* 108: 71-78.