



PRONATTA

RESPUESTA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS A LA INOCULACIÓN CON MICROORGANISMOS SIMBIÓTICOS Y ASIMBIÓTICOS

Boletín de Investigación No. 7

RUTH BONILLA BUITRAGO

Bióloga, Ph.D. Ciencias Agrícolas. Investigadora Corpoica

BELISARIO RONCALLO FANDIÑO

M.V.Z., M.Sc. Investigador Corpoica

XIOMARA FORERO

Ingeniera Agrónoma

Corpoica, Regional 3 - 2002

No. de recibido: _____
 Limpia
 Canje
 Donación
 Procedencia: CORPOSCA
Deposito legal
 Fecha: 30 SET 2002 Costo: 18.000

© Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica, Regional 3
 Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria - Pronatta
 Programa Regional de Investigación Pecuaria y Agrícola

Boletín de Investigación

Edición: Griselda Gómez Gómez
 Transferencia de Tecnología Regional 3
 Código: 01.01.07.03.33.01
 Tiraje: 100 ejemplares

Producción editorial
 Fotomecánica, impresión y encuadernación


PRODUMEDIOS
 Productos editoriales y audiovisuales

www.produmedios.com

Tel.: 288 5338

Bogotá, D.C., Colombia

Impreso en Colombia
 Printed in Colombia

CONTENIDO

Pág.

PRESENTACIÓN	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1. Localización	9
2.2. Etapas de la experimentación	9
2.3. Materiales	9
2.4. Determinación del porcentaje de infección radical	9
2.5. Técnicas de separación de esporas en el suelo	10
2.6. Humedad del suelo	10
2.7. Análisis químico de los suelos	10
2.8. Altura de la planta	10
2.9. Grosor del tallo	10
2.10. Materia seca y producción de forraje	11
2.11. Contenido de nutrientes	11
2.12. Diseño y análisis estadístico	11
2.13. Procedimientos	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
3.1. Características del suelo	15
3.2. Germinación	15
3.3. Altura de planta en la fase de vivero	16
3.4. Porcentaje de infección radical	20
3.5. Número de esporas y porcentaje de humedad	21
3.6. Altura de la planta en la fase de campo	23
3.7. Grosor del tallo	26
3.8. Producción de forraje verde	28
3.9. Producción de materia seca comestible	30
3.10. Producción de materia seca no comestible (fracción gruesa)	33
3.11. Contenido de nutrientes	35
4. CONCLUSIONES	37
5. RECOMENDACIONES	39
6. BIBLIOGRAFÍA	40

PRESENTACIÓN

La agricultura orgánica, en contraposición a la revolución verde, ha preconizado el incremento de la producción agrícola teniendo en cuenta la conservación de los recursos naturales; así mismo, el mayor desafío en el enfoque sostenible del suelo ha sido la utilización en gran escala de los recursos genéticos nativos para potenciar la producción agrícola del trópico.

En este orden de ideas, CORPOICA viene asumiendo los nuevos retos adelantando procesos investigativos con microorganismos nativos útiles en el mejoramiento del suelo y en la eficiencia agrícola, haciendo uso de la biodiversidad disponible en la región.

En anteriores oportunidades hemos entregado a los productores resultados donde intervienen *Azotobacter* sp. y micorrizas en el beneficio de los sistemas de producción agrícola de mayor importancia económica. Con la entrega de los resultados contenidos en el presente documento, realizamos un importante aporte al conocimiento del *Azotobacter* sp. y a su potencial contribución a la agricultura desde los puntos de vista productivo y de sostenibilidad.

Guardamos la expectativa que los avances presentados en este boletín propicien el ambiente favorable para su amplia utilización en el establecimiento de sistemas silvopastoriles.

ALVARO TOLOZA PALOMINO
Director Regional 3

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la respuesta de las leguminosas arbóreas a la inoculación con *Azotobacter chroococcum* en invernadero y a la inoculación con *Entrophospora colombiana* y *Azotobacter chroococcum* en condiciones de campo. Se determinó la infección radical (Giovanetti y Mosse, 1980), número de esporas en el suelo (Gerderman y Nicolson, 1963), altura de la planta, grosor del tallo, producción de materia seca (fracción fina y gruesa) y contenido de nutrientes. Fue utilizado un diseño de bloques al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento. Se obtuvo menor tiempo de germinación en las semillas de Iguá (*Pseudosamanea guachapele*) inoculadas con *Azotobacter*; las semillas de trupillo (*Prosopis juliflora*) inoculadas con la cepa AC-3 presentaron el menor ($P < 0.05$) tiempo de germinación. La acacia (*Leucaena leucocephala*) inoculada con *E. colombiana* presentó el más alto porcentaje de infección (63.3%). En condiciones de campo no fueron observadas diferencias significativas en la variable altura de la planta en las especies estudiadas; sin embargo, las plantas de algarrobbillo (*Pithecellobium saman*) inoculadas con la cepa AC-3 presentaron incrementos en la altura superiores en 54.6, 27.7 y 64.7% en relación a las inoculadas con las cepas AC-2, *E. colombiana* y sin inocular, respectivamente. La producción de materia seca (fracción fina) fue similar ($P > 0.05$) entre los tratamientos en todas las especies evaluadas; no obstante, las plantas de acacia (*Leucaena leucocephala*) inoculadas con la cepa AC-3 presentaron producciones de materia seca (fracción fina) superiores en 45.4, 27.2 y 165.9% en relación con las inoculadas con las cepas *E. colombiana*, AC-2 y testigo, respectivamente.

Palabras claves: *Azotobacter chroococcum*, *Entrophospora colombiana*, *Prosopis juliflora*, *Leucaena leucocephala*, *Pseudosamanea guachapele*, *Pithecellobium saman*.

ABSTRACT

TREE LEGUMINOUS RESPONSE TO SYMBIOTIC AND ASYMBIOTIC MICROORGANISM INOCULATION

The present work was carried out with the objective of studying the effect of leguminous trees inoculation with *Azotobacter chroococcum* and *Entrophospora colombiana*, under greenhouse and field conditions the parameters to determine were the following: radical infection (Giovanetti and Mosse, 1980), the number of spores in the soil (Gerderman and Nicolson, 1963), plants height the thickness of the stems, production of dry matter (fine and thick fraction) and the content of nutrients. A design of blocks was used at random with 4 treatments and 3 repetitions by treatment. The smallest time of germination was obtained for seeds of Iguá (*Pseudosamanea guachapele*) inoculated with *Azotobacter*; the trupillo seeds (*Prosopis juliflora*) inoculated with the strain AC-3 presented the least ($P < 0.05$) time of germination. The acacia seeds (*Leucaena leucocephala*) inoculated with *Entrophospora colombiana* presented the highest infection percentage (63.3%). Under field conditions no significant differences were observed in the plants height for the studied species; however, the algarrobillo plants (*Pithecellobium saman*) inoculated with the strain AC-3 presented increments in their height of 54.6, 27.7 and 64.7% in relation to those inoculated with the strain AC-2, *Entrophospora colombiana* and without inoculating, respectively. The production of dry matter (fine fraction) was similar ($P > 0.05$) for the treatments in all the evaluated species; nevertheless, the plants of acacia (*Leucaena leucocephala*) inoculated with the strain AC-3 presented productions of dry matter (fine fraction) higher in 45.4, 27.2 and 165.9% in relation to those inoculated with the strain *Entrophospora colombiana*, AC-2 and test sample respectively.

Key words: *Azotobacter chroococcum*, *Entrophospora colombiana*, *Prosopis juliflora*, *Leucaena leucocephala*, *Pseudosamanea guachapele*, *Pithecellobium saman*.

1. INTRODUCCIÓN

La tendencia mundial de la agricultura sostenible está enfocada al estudio de microorganismos del suelo, principalmente en los aspectos ecológicos, genéticos, bioquímicos, fisiológicos, nutricionales, protección de las plantas y de su contribución a una productividad sostenida con el mínimo de deterioro ambiental (Barea y Azcon, 2001).

Es bien conocida la función de los microorganismos en el suelo, especialmente algunos grupos específicos que manipulados permiten expresar de forma eficaz determinadas actividades (Barea y Olivares, 2001). Los hongos micorrizógenos y las bacterias fijadoras de nitrógeno son los componentes más destacados; estos microorganismos permiten desarrollar actividades fundamentales en el ciclaje de nutrientes (Barea, 1991), aspectos que revisten importancia capital dentro de los sistemas silvopastoriles.

Los hongos micorrizógenos y las bacterias asimbióticas tienen gran interés dentro de la agricultura cuando se promulgan los sistemas sostenibles, donde desarrollan actividades como ciclaje de nutrientes, control biológico de patógenos, mejoramiento de las características físicas y químicas del suelo y ecofisiológicas de las plantas (Bethlenfalvay y Linderman, 1992; Barea y Jeffries, 1995).

En el establecimiento de sistemas silvopastoriles, la inducción para recortar el tiempo de germinación y para incrementar el crecimiento de las especies arbóreas que conforman el sistema puede jugar un papel importante la inoculación con estos microorganismos, especialmente en lo referente a los efectos favorables en la competencia con malezas principalmente en la fase inicial del período vegetativo; a pesar de ello en la región Caribe se han realizado un número limitado de estudios conducentes a evaluar el impacto de la introducción de estos microorganismos en los cultivos de importancia económica.

El presente estudio tuvo como objetivo estudiar diversos aspectos relacionados con la respuesta de leguminosas arbóreas a la inoculación con *Entrophospora colombiana* y *Azotobacter chroococcum* en las condiciones edafoclimáticas del C.I. Motilonia (Codazzi-Cesar).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La experimentación se desarrolló en el Centro de Investigación Motilonia, localizado en Codazzi (Cesar). El centro está ubicado a una altura de 160 m.s.n.m, con precipitación media anual de 1360 mm, temperatura media anual de 28° C y humedad relativa de 68%. La zona corresponde a la clasificación de bosque seco tropical según Holdridge (1968).

2.2. Etapas de la experimentación

El trabajo se desarrolló en dos etapas secuenciales:

- La primera consistió en el estudio de la respuesta de las leguminosas arbóreas a la inoculación con *Azotobacter chroococcum* en condiciones de invernadero con duración de 3 meses.
- La segunda contempló el montaje de un experimento en condiciones de campo, con el propósito de evaluar la respuesta de las especies arbóreas a la inoculación con micorriza y *Azotobacter*.

2.3. Materiales

El inóculo con prevalencia de *Entrophospora colombiana* y las cepas de bacterias identificadas preliminarmente como *Azotobacter chroococcum* procedieron de suelos nativos del C.I. Motilonia.

2.4. Determinación del porcentaje de infección radical

Se realizó a partir del tercer mes del transplante; cada treinta días se tomaron cuatro observaciones extrayendo las raíces finas a una dis-

tancia inferior de 20 cm alrededor del tallo de la planta y a una profundidad de 20 cm. El proceso de tinción se realizó de acuerdo con la metodología de Phyllips y Hayman (1970). La determinación de la infección en microscopio se practicó siguiendo la metodología de Giovannetti y Mosse (1980).

2.5. Técnicas de separación de esporas en el suelo

Se realizaron evaluaciones a partir del tercer mes del trasplante. Para el conteo se empleó el método de intersecciones de cuadrantes mediante la observación estereoscópica descrito por Gerderman y Nicolson (1963).

2.6. Humedad del suelo

Se evaluó a partir del tercer mes del trasplante. Cada 30 días se tomaron 20 g de suelo rizosférico en cada uno de los tratamientos y determinada en estufa a una temperatura de 100° C durante 24 horas.

2.7. Análisis químico de los suelos

Los análisis químicos de los suelos estudiados fueron realizados mediante la metodología descrita en el manual No. 47 del ICA (1989).

2.8. Altura de la planta

La medida de la altura se llevó a cabo en la fase de invernadero, en el momento del trasplante y cada 30 días durante el período vegetativo.

2.9. Grosor del tallo

Se determinó a partir del tercer mes del trasplante con intervalo de 30 días; se evaluó midiendo el diámetro del tallo de las plantas en un punto localizado en la parte inferior de la primera ramificación; para ello fue utilizado un calibrador o nonio.

2.10. Materia seca y producción de forraje

Las 36 unidades experimentales fueron recolectadas y pesadas al final del ensayo. En el momento del corte se pesó una muestra de la fracción fina, representada en la parte foliar y tallos menores de 6 mm de diámetro; el material fue dividido en pedazos pequeños, homogenizados y tomadas unas submuestras de 250 g, las cuales se llevaron a una estufa de secado y temperatura de 75° C por un tiempo de 48 horas; posteriormente se pesó la submuestra y se estimó el contenido de materia seca. También submuestras de la fracción gruesa, constituidas de tallos mayores de 6 mm de diámetro, fueron tomadas y secadas en estufa.

2.11. Contenido de nutrientes

Se estimó con base en la fracción fina de las especies arbóreas. Se determinó la proteína cruda por el método de Kjeldahl (1995), el fósforo por colorimetría y el calcio por espectrofotometría de absorción atómica realizados en el laboratorio del C.I. Tibaitatá.

2.12. Diseño y análisis estadístico

Para evaluar los efectos sobre las diferentes variables en cada uno de las especies estudiadas se estableció un diseño estadístico de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y a los promedios se les realizó un test de Tukey a un nivel de 5% de probabilidad.

2.13. Procedimientos

2.13.1. Montaje de experimentos. El proceso investigativo se realizó en dos etapas secuenciales, las cuales se describen a continuación:

2.13.1.1. Primera fase experimental. El objetivo de esta fase experimental fue verificar la eficiencia de la inoculación con *Azotobacter* en leguminosas arbóreas.

En suelos estériles procedentes de Codazzi, se realizaron los estudios en invernadero, utilizando materas de 500 g de capacidad, teniendo como plantas indicadoras las siguientes especies: Acacia (*Leucaena leucocephala*), algarrobito (*Pithecellobium saman*), iguá (*Pseudosamanea guachapele*) y trupillo (*Prosopis juliflora*).

En esta etapa inicial se utilizó la inoculación con las cepas de *Azotobacter* por imbibición de la semilla durante 5 minutos en 4 experimentos. Se evaluó el tiempo de germinación y altura de la planta a través del período vegetativo (tres meses); esta última se estimó mensualmente.

En estos experimentos fue utilizado un diseño de bloques al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento. Las informaciones obtenidas fueron sometidas a análisis de varianza y las medias comparadas por el test de Tukey a un nivel de 5 % de probabilidad.

Los tratamientos experimentales fueron los siguientes:

• **Experimento 1:**

Acacia sin inoculación
Acacia inoculada con la cepa AC-1.
Acacia inoculada con la cepa AC-2.
Acacia inoculada con la cepa AC-3.

• **Experimento 2:**

Algarrobito sin inoculación
Algarrobito inoculado con la cepa AC-1.
Algarrobito inoculado con la cepa AC-2.
Algarrobito inoculado con la cepa AC-3.

• **Experimento 3:**

Iguá sin inoculación
Iguá inoculado con la cepa AC-1.
Iguá inoculado con la cepa AC-2.
Iguá inoculado con la cepa AC-3.

• **Experimento 4:**

Trupillo sin inoculación

Trupillo inoculado con la cepa AC-1.

Trupillo inoculado con la cepa AC-2.

Trupillo inoculado con la cepa AC-3.

2.13.1.2. Segunda fase experimental. Esta segunda etapa consistió en la inoculación con micorrizas y *Azotobacter*; posteriormente se practicó una reinoculación con *Azotobacter chroococcum* en condiciones de campo eligiendo como especies indicadoras la acacia (*Leucaena leucocephala*), el algarrobito (*Pithecellobium saman*) y el trupillo (*Prosopis juliflora*).

Previa selección del lote, se procedió a enmarcar el área experimental de 900 m² distribuido en tres parcelas de tres surcos de 60 m de largo x 15 m de ancho y densidad de siembra de 5 m entre surcos x 5 m entre plantas. Posteriormente fueron seleccionadas en el momento del transplante las mejores plántulas de cada especie.

A las leguminosas arbóreas se les aplicó 30 g/planta de inóculo de *E. colombiana* compuesto por suelo, raíces y esporas (9 esporas/g de suelo) en el momento del transplante.

El área fue fertilizada con 1.6 kg de bovinaza totalmente descompuesta con el fin de mejorar la calidad del suelo, aplicándose directamente en cada sitio en el momento del transplante; no se aplicó fertilizante químico adicional.

En la zona rizosférica alrededor del tallo, se aplicó 40 ml de inóculo de *A. chroococcum* en una concentración de 10⁵ U.F.C./ml. A los tres meses de establecido el cultivo se realizó una reinoculación con las dos cepas nativas de *A. chroococcum*. A cada uno de los tratamientos se les aplicó 20 ml en el área foliar y 20 ml en el suelo a una distancia de 10 cm alrededor del tallo con el fin de mejorar la dinámica poblacional de *A. chroococcum*.

Los tratamientos experimentales fueron los siguientes:

- **Experimento 1:**

Acacia sin inoculación.

Acacia inoculada con *Entrophospora colombiana*.

Acacia inoculada con la cepa AC-2.

Acacia inoculada con la cepa AC-3.

- **Experimento 2:**

Algarrobillo sin inocular.

Algarrobillo inoculado con *Entrophospora colombiana*.

Algarrobillo inoculado con la cepa AC-2.

Algarrobillo inoculado con la cepa AC-3.

- **Experimento 3:**

Trupillo sin inocular.

Trupillo inoculado con *Entrophospora colombiana*.

Trupillo inoculado con la cepa AC-2.

Trupillo inoculado con la cepa AC-3.

En este experimento se evaluaron las siguientes variables: poblaciones micorrizales, infección de raíces, altura de planta, grosor del tallo, producción de materia seca (fracción fina y fracción gruesa) y contenido de nutrientes.

En cada uno de los experimentos fue utilizado un diseño de bloques al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento; la información fue analizada mediante análisis de varianza y las medias comparadas mediante la prueba de Tukey a un nivel de probabilidad del 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características del suelo

Los suelos del C.I. Motilonia utilizados en los experimentos presentaron las siguientes características: textura franco arcillosa, con propiedades físicas degradadas, alto grado de compactación (densidad aparente 1.7 g/cm³), fertilidad mediana, altos niveles de fósforo (203 ppm), bajo porcentaje de materia orgánica y pertenecen al orden vertisoles (tabla 1).

Tabla 1. Algunas características de los suelos del C.I. Motilonia, Codazzi. 1999

Localidad	Textura	Clasificación	Densidad aparente (g/cm ³)	pH	M.O. %	P ppm
Codazzi	Franco arcillosa	Vertisoles	1.70	7.0	2.3	203

3.2. Germinación

Las semillas de acacia (*Leucaena leucocephala*) inoculadas con las cepas AC-1, AC-2 y testigo no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la variable germinación; sin embargo, se observó mejor germinación en las semillas inoculadas con la cepa AC-3 en relación con las inoculadas con AC-1 y testigo (figura 1). De otra parte, los resultados revelan que no fueron significativas las diferencias obtenidas en el tiempo de germinación de las semillas del algarrobbillo (*Pithecellobium saman*) (figura 1). Entretanto, las semillas de iguá (*Pseudosamanea guachapele*) inoculadas con la cepa AC-2 presentaron menor tiempo de germinación ($P < 0.05$) en relación con los otros tratamientos; así mismo, se observó menor tiempo de germinación ($P < 0.05$) en las semillas de iguá inoculadas con las cepas AC-1 y AC-3 en relación con el testigo (figura 1).

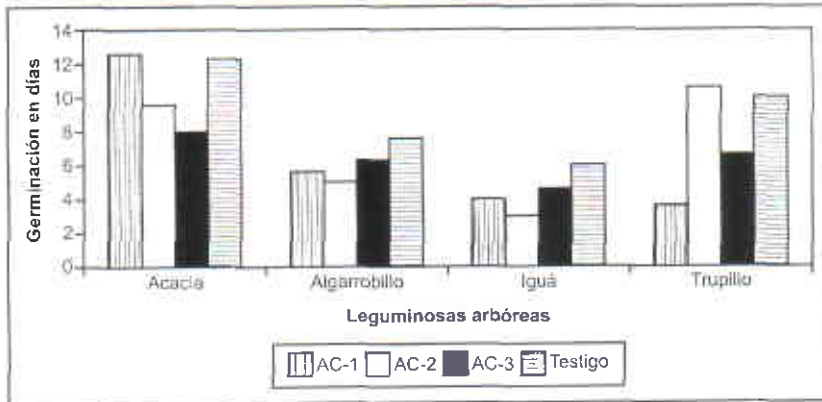


Figura 1. Respuesta de la germinación de varias leguminosas arbóreas a la inoculación con *Azotobacter*

Las semillas de trupillo (*Prosopis juliflora*) inoculadas con las cepas AC-3, AC-2 y testigo no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en esta variable; sin embargo las semillas inoculadas con la cepa AC-1 presentaron el menor tiempo de germinación ($P < 0.05$) (figura 1). Estos resultados pueden atribuirse a la preferencia que tienen algunas cepas de *Azotobacter* por algunas especies vegetales (Sánchez, 1999). Entre los microorganismos capaces de producir sustancias activas estimuladoras del crecimiento vegetal se encuentran las bacterias del género *Azotobacter*, las cuales producen sustancias de tipo hormonal, auxinas, citoquininas, giberelinas, aminoácidos y vitaminas (Kannaiyan *et al.*, 1998); la acción conjunta de estas sustancias estimulan la germinación de las plántulas siempre que sea adecuada la concentración de bacterias en la rizosfera (Martínez, 1993; citado por Parra, 2001).

Diversos autores (Tudzynsky, 1999; Salisburi, 1994; Kannaiyan *et al.*, 1998; Delgado *et al.*, 1998; Barea y Azcon, 2001), confirman que este efecto indica la influencia de los microorganismos en la germinación de estas especies arbóreas, lo cual puede explicarse por la inducción del microorganismo para producir giberelinas, hormonas, vitaminas y otras sustancias fitoestimuladoras que favorecen la germinación.

3.3. Altura de planta en la fase de vivero

Los resultados revelan que la inoculación de las semillas de acacia (*Leucaena leucocephala*) con las cepas AC-3 y AC-1 presentaron ma-

yores ($P < 0.05$) incrementos en la altura de la planta en la fase de vivero en relación con las inoculadas con la cepa AC-2 y testigo (figura 2); las diferencias encontradas en la altura del algarrobito (*Pithecellobium saman*) en los diferentes tratamientos no fueron significativas ($P > 0.05$) (figura 2).

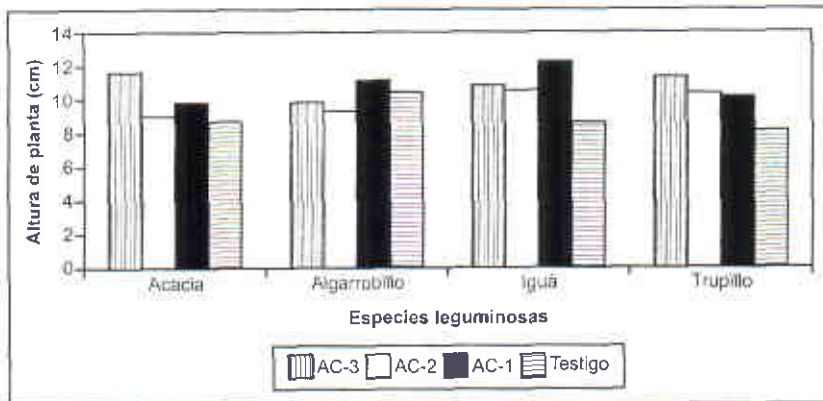


Figura 2. Efecto de la inoculación sobre la altura de cuatro leguminosas arbóreas con *Azotobacter*

Los resultados obtenidos señalan que no existen diferencias significativas ($P > 0.05$) en la altura de la planta de iguá (*Pseudosamanea guachapele*); sin embargo las plantas inoculadas con las cepas AC-1 presentaron alturas superiores del orden de 12.9, 16.2 y 41.9 % en relación con las inoculadas con las cepas AC-3, AC-2 y sin inocular, respectivamente (figura 2).

Los resultados obtenidos en la variable altura de la planta del trupillo (*Prosopis juliflora*) revelaron que no existen diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos; no obstante las plantas inoculadas con las cepas AC-3, AC-2 y AC-1 presentaron incrementos superiores al grupo testigo equivalentes a 39.5, 27.2 y 24.7% respectivamente (figura 2).

Esta respuesta obtenida en la variable altura de la planta en la fase de vivero indica la mayor afinidad de estos microorganismos por algunas especies arbóreas, acompañada también por un mayor vigor de las plantas (fotos 1, 2, 3 y 4).



Foto 1. *Leucaena leucocephala* con y sin inoculación

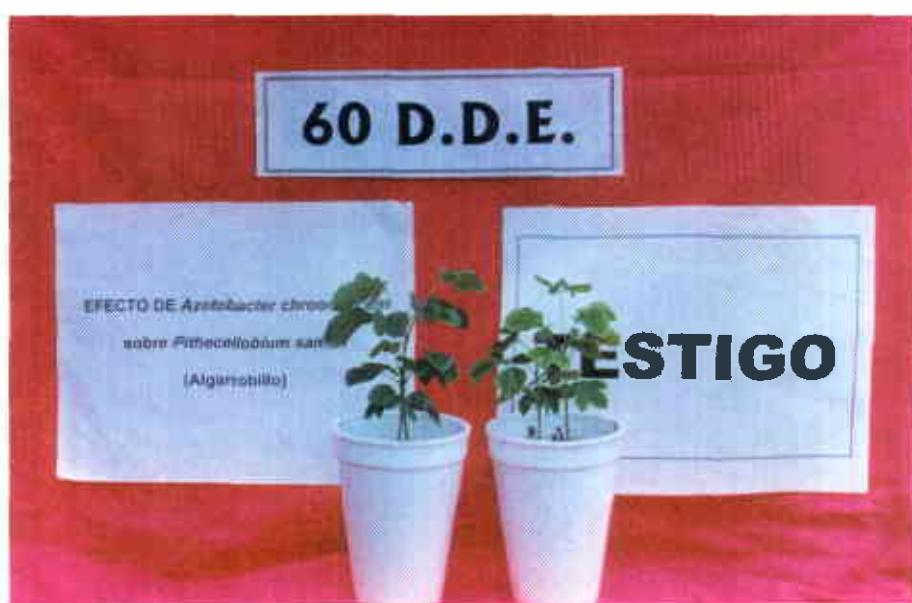


Foto 2. *Pithecellobium saman* con y sin inoculación



Foto 3. *Pseudosamanea guachapele* con y sin inoculación

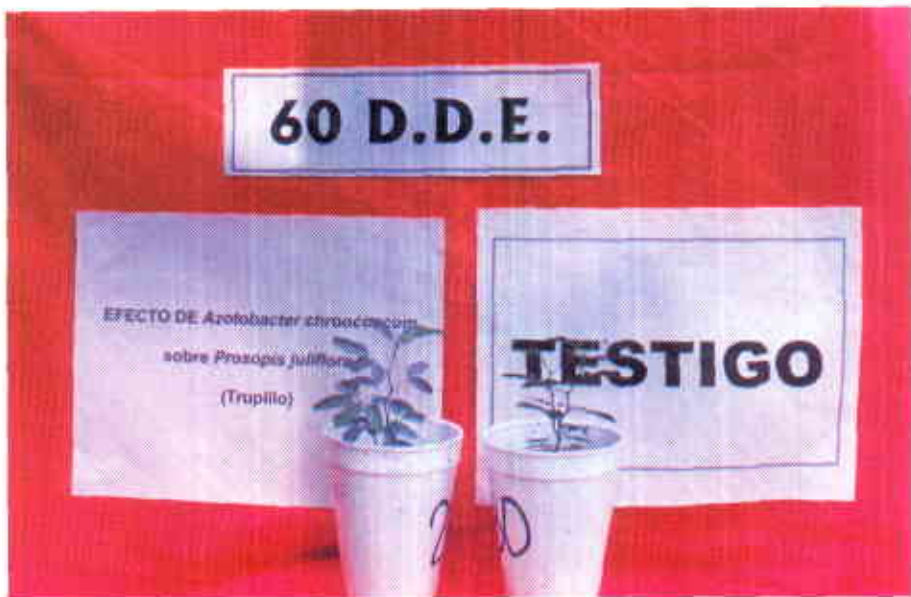


Foto 4. *Prosopis juliflora* con y sin inoculación

La altura de las plantas puede ser promovida por la producción de sustancias estimuladoras del crecimiento como las auxinas, inductoras de la elongación de las plantas y por la solubilización del fósforo realizado por el *Azotobacter chroococcum* (Davies, 1997; Castillo, 1982; citados por Garzón y Lamprea, 2001).

Guerrero y González (1995), citados por Garzón y Lamprea (2001), obtuvieron los mayores valores en altura de planta en el guayabo (*Psidium guayabo*) cuando se inoculó en suelo y semilla con un biofertilizante basado en *Azotobacter chroococcum* adicionando nitrógeno químico.

3.4. Porcentaje de colonización radical

Los resultados revelan que las plantas de acacia inoculadas con *E. colombiana* presentaron los mayores porcentajes de infección (63.3%) en relación con las otras especies y respecto al testigo (6.5%) a los 210 días después del trasplante (figura 3). Similares resultados fueron obtenidos en diversos cultivos agrícolas por Bonilla y Galvis (1999); Bonilla *et al.* (2000) y Sánchez (1990). Estos resultados están de acuerdo con los registrados por Ojeda *et al.* (1992), quienes obtuvieron mayor dependencia de colonización en esta misma especie, por lo

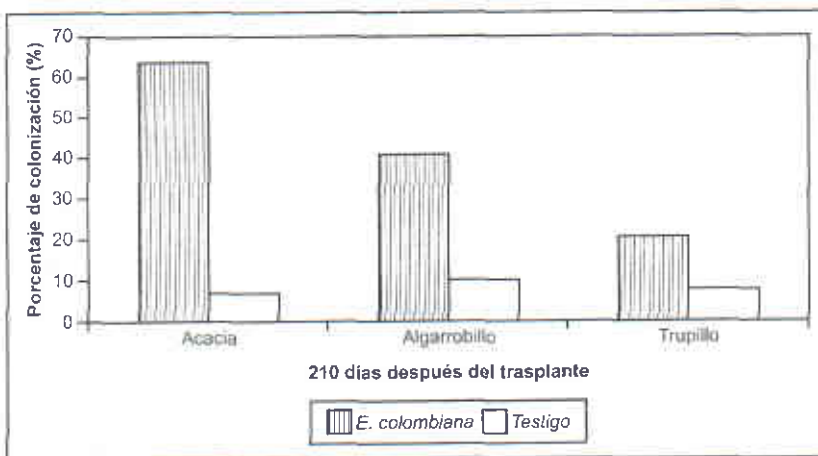


Figura 3. Porcentaje de colonización radical a los 210 días después del trasplante de tres especies de leguminosas arbóreas

cual se confirma que la acacia es micotrófica dependiente, mientras que el algarrobito y el trupillo pueden considerarse especies con menor dependencia.

En las plantas de algarrobito inoculadas con *E. colombiana* el porcentaje de infección fue de 40.5% y en el testigo fue de 10.2% a los 210 días después del trasplante; entretanto, el porcentaje de infección en el mismo período, fue de 20.1% en plantas de trupillo inoculadas y de 7.0% en el testigo (figura 3).

3.5. Número de esporas y porcentaje de humedad

Los resultados obtenidos revelan que el número de esporas presente en cada gramo de suelo difiere de acuerdo con la época de muestreo y de cada especie arbórea. Los suelos donde crecieron las plantas de acacia inoculadas con *E. colombiana* presentaron una población de 10.1 esporas/g de suelo y en el testigo fue de 3.5 esporas/g de suelo a los 210 días después del trasplante, siendo el porcentaje de humedad de 4.5% en el mismo período (figura 4 y 5).

Los resultados obtenidos en las plantas de algarrobito inoculadas con *E. colombiana* presentaron un incremento de 6.5 esporas/g de suelo; entre tanto en el testigo fue de 3.0 esporas/g de suelo a los 210 días,

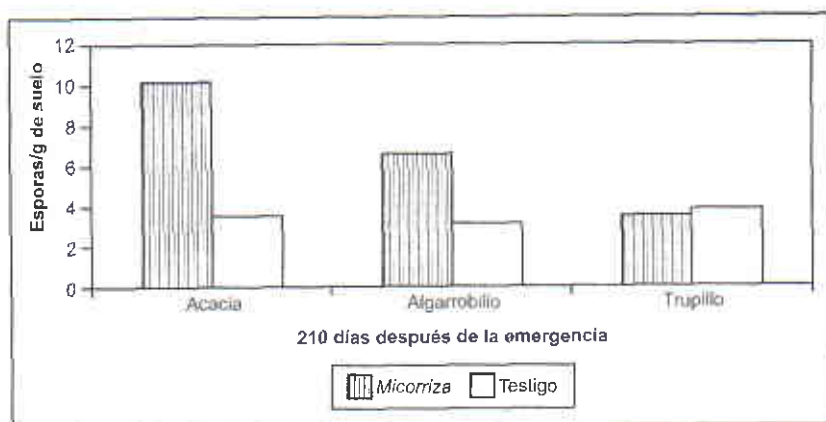


Figura 4. Número de esporas/g de suelo en acacia, algarrobito y trupillo a los 210 días de establecido el cultivo

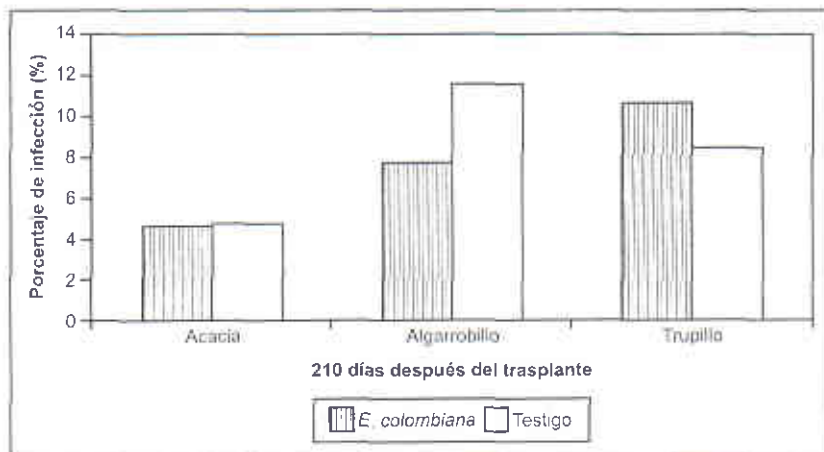


Figura 5. Porcentaje de humedad del suelo rizosférico de tres especies de leguminosas arbóreas a los 210 días después del trasplante

con un porcentaje de humedad del suelo rizosférico de 7.7 y 11.4 % respectivamente, a la misma edad (figura 4 y 5).

En las plantas de trupillo inoculadas con *E. colombiana* fueron encontradas una concentración de 3.4 esporas/g de suelo y en el testigo 3.7 esporas/g de suelo a los 210 días (figura 5); siendo los niveles de humedad edáfica de 10.5 y 8.3 %, respectivamente (figura 4 y 5).

La mayor esporulación está asociada a los menores porcentajes de humedad encontrados en los suelos rizosféricos del testigo. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Sánchez (1999) en estudios realizados en el Valle del Cauca con diferentes especies y Bonilla (2000) en cultivos como el sorgo, algodón y frijol, en el Valle del Cesar.

Estudios similares se han realizado en diversos cultivos donde las condiciones ambientales juegan un papel importante en la producción de esporas (Barea y Jeffries, 1995). El déficit de agua en el verano estimularía la producción y esto explicaría la mayor cantidad de esporas (Guerrero y Hodson, 1990).

Nappi *et al.*, (1981) en condiciones de clima templado, demostraron que el número de esporas aumenta en invierno y la mayor infección ocurre en verano y/o primavera, épocas de gran actividad biológica, la cual está acompañada de un descenso en el número de esporas.

Según Azcon y Barea (1992), varios experimentos han demostrado que no siempre existe una correlación positiva entre el número de esporas y el porcentaje de infección; la esporulación o la infección depende en mayor grado de las condiciones edáficas o estrés hídrico, existiendo siempre mayor número de esporas que colonización.

3.6. Altura de la planta en la fase de campo

3.6.1. Altura de la acacia (*Leucaena leucocephala*). Los resultados del experimento revelan que no existen diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos en la variable altura de la planta (figura 6); sin embargo, las plantas inoculadas con *E. colombiana* presentaron incrementos de altura superiores en 17.2, 13.5 y 30.8 %, en relación con las plantas inoculadas con las cepas AC-2, AC-3 y sin inocular, respectivamente.

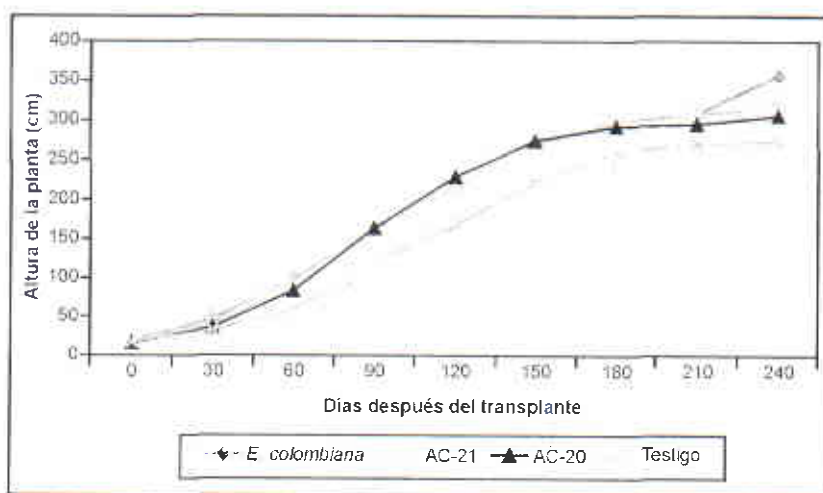


Figura 6. Efecto de la inoculación con cepas de *E. colombiana* y *A. chroococcum* sobre la altura de la acacia (*Leucaena leucocephala*)

Las plantas inoculadas con las cepas *E. colombiana*, AC-2 y AC-3 presentaron valores de altura a los 240 días de edad de 357.7, 305.0 y 315.0 cm, respectivamente; entre tanto el testigo registró una altura inferior a los demás tratamientos con un promedio de 273.3 cm (figura 6). Teniendo en cuenta que los tratamientos de mayor desarrollo en altura están influenciados por la inoculación de *E. colombiana* y *A. chroococcum*, este efecto puede atribuirse a la inducción de estos microorganismos a la producción de hormonas de crecimiento y a la mayor absorción de nutrientes de las plantas inoculadas.

Los anteriores resultados son superiores a los registrados por Aguirre y Valdés (1993), quienes observaron que las plantas de acacia alcanzaron un promedio de 218 y 205 cm de altura a las 72 semanas de edad al ser inoculados con cepas de *Rhizobium* y *G. mosseae*, respectivamente.

3.6.2. Altura del algarrobillo (*Pithecellobium saman*). Las mayores alturas del algarrobillo se registraron en las plantas inoculadas con *E. colombiana*, AC-3 y AC-2, las cuales presentaron valores promedios de 200.0, 255.3 y 165.3 cm, respectivamente a los 240 días de edad; por el contrario, se observaron que las plantas sin inocular (testigo) presentaron menor crecimiento en esta variable con una altura promedio de 155.0 cm (figura 7).



Figura 7. Efecto de la inoculación con cepas *E. colombiana* y *A. chroococcum* sobre la altura del algarrobillo (*Pithecellobium saman*)

Las diferencias obtenidas entre los tratamientos en la variable altura de la planta no fueron significativas ($P < 0.05$); sin embargo, las plantas de algarrobillo inoculadas con AC-3 presentaron incrementos en la altura superiores en 54.6, 27.7 y 64.7 % en relación a las inoculadas con las cepas AC-2, *E. colombiana* y sin inocular, respectivamente. La respuesta obtenida puede atribuirse al efecto de la inoculación con *E. colombiana* y *A. chroococcum*, las cuales estimulan la producción de hormonas, contribuyendo de esta manera con la mayor absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas.

Según Sebert (1992), en estudios realizados con plantas de acacia y algarrobillo sin inocular a los 5 meses de transplantadas presentaron alturas de 100 y 150 cm, respectivamente, indicando que estas especies presentan una respuesta positiva en crecimiento cuando se aplican inoculantes.

3.6.3. Altura del trupillo (*Prosopis juliflora*). A través del período vegetativo las plantas de trupillo inoculadas con *E. colombiana* y AC-3 presentaron las mayores alturas, siendo los promedios a los 240 días de 116.4 y 129.0 cm, respectivamente (figura 8).

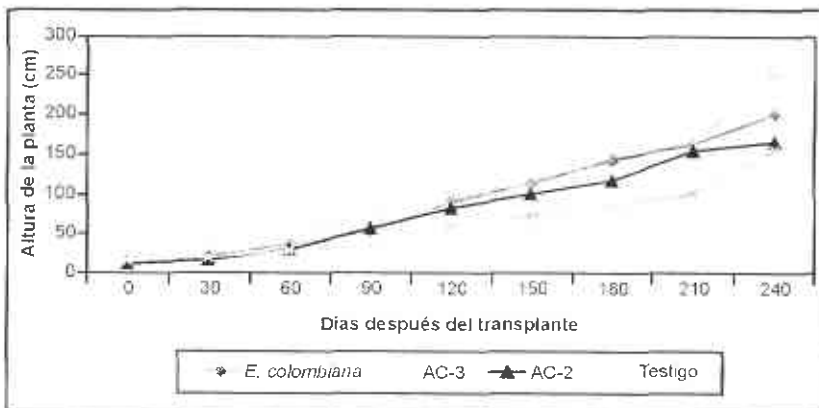


Figura 8. Efecto de la inoculación con cepas de *E. colombiana* y *A. chroococcum* sobre la altura de trupillo (*Prosopis juliflora*)

Las diferencias obtenidas entre los tratamientos para la variable altura de la planta no fueron significativas ($P < 0.05$); no obstante, las plantas inoculadas con AC-3, presentaron mayores incrementos en la altura

siendo del orden de 34.6, 10.8 y 17.0 % con relación a las inoculadas con las cepas AC-2, *E. colombiana* y testigo, respectivamente. Estos resultados demuestran mayor afinidad de las cepas *E. colombiana* y AC-3 por la especie trupillo.

La altura de la planta puede ser promovida por la producción de sustancias estimuladoras del crecimiento como las auxinas, inductoras de la elongación de las plantas (Davies, 1997; citado por Garzón y Lamprea, 2001) y por la solubilización del fósforo realizado por el *Azotobacter chroococcum* (Castillo, 1982; citado por Garzón y Lamprea, 2001).

3.7. Grosor del tallo

3.7.1. Grosor del tallo de la acacia (*Leucaena leucocephala* L.). Para esta variable el tratamiento inoculado con AC-2 (3.9 cm), AC-3 (3.4 cm) y *E. colombiana* (3.3 cm) presentaron los mejores promedios respectivamente con relación al testigo (2.7 cm). Los anteriores resultados revelaron que las diferencias obtenidas en el grosor del tallo no fueron significativas ($P > 0.05$). Las plantas inoculadas con la cepa AC-2 presentaron incrementos equivalentes a 18.2, 14.7 y 44.4 % con respecto a las inoculadas con las cepas *E. colombiana*, AC-3 y sin inocular, respectivamente (tabla 2).

Tabla 2. Promedio del grosor del tallo de tres leguminosas arbóreas a los 240 días después del trasplante. *Ci Motilonia*. 1999

GROSOR DEL TALLO (cm)			
TRATAMIENTOS	ACACIA	ALGARROBILLO	TRUPILLO
Testigo	2.7	2.7	2.3
<i>E.colombiana</i>	3.3	2.8	2.7
AC-2	3.9	2.5	2.3
AC-3	3.4	3.2	2.1

3.7.2. Grosor del tallo del algarrobillo (*Pithecellobium saman*). Los resultados obtenidos en la variable grosor del tallo revelan que las plantas inoculadas con AC-3 y *E. colombiana* presentaron promedios de 3.2 y 2.8 cm, respectivamente (tabla 2). Se observó que las plantas de menor grosor fueron las inoculadas con AC-2 y testigo, obteniéndose un promedio de 2.5 y 2.7 cm, respectivamente.

Las diferencias obtenidas entre los tratamientos en el grosor de tallo del algarrobillo no fueron significativas ($P > 0.05$). Sin embargo, las plantas inoculadas con AC-3 presentaron mayores valores equivalentes a 28.0, 14.2 y 18.5 % con respecto a las inoculadas con las cepas AC-2, *E. colombiana* y testigo.

3.7.3. Grosor del tallo del trupillo (*Prosopis juliflora*). Los resultados obtenidos revelan que no existe efecto significativo de la inoculación con *E. colombiana* y *A. chroococcum* sobre el grosor del tallo del trupillo (tabla 2).

Las plantas inoculadas con la cepa *E. colombiana* presentaron incrementos en el grosor del tallo superiores en 28.5, 17.3 y 17.3 % en relación con las inoculadas con las cepas AC-3, AC-2 y testigo, respectivamente.

Los resultados presentan una tendencia de afinidad y especificidad de ciertos microorganismos por cada una de las especies estudiadas, causando un impacto positivo sobre las diferentes variables; este efecto positivo causado por la inoculación puede explicarse como resultado de la inducción sobre la planta para la producción de hormonas promotoras de crecimiento y a la estimulación para la mayor absorción de nutrientes por las plantas. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Martínez y Dibut (1994), que usando este tipo de bacterias comprobaron su efectividad y aumento en el grosor del tallo en más del 40% en el tomate. Similares resultados fueron obtenidos por Bonilla (2000) y Bonilla y Galvis (1999), en el mismo cultivo con un incremento de 42.9% en el grosor del tallo.

El *A. chroococcum* ha sido reconocido como estimulador del diámetro del tallo debido a la producción de sustancias fisiológicamente activas

(auxinas, giberelinas o citoquininas), el cual es capaz de sintetizar (Hernández *et al.*, 1994; citados por Garzón y Lamprea, 2001).

3.8. Producción de forraje verde

Los resultados revelan que las diferencias obtenidas en la producción de forraje verde entre los diferentes tratamientos experimentales no fueron significativas ($P > 0.05$) en ninguna de las especies evaluadas.

3.8.1. Producción de forraje verde de la acacia (*Leucaena leucocephala*). Las mejores producciones de forraje verde en la acacia forrajera fueron obtenidas en las plantas inoculadas en relación con las no inoculadas. Los valores obtenidos en plantas inoculadas con AC-3, AC-2 y *E. colombiana* y sin inocular fueron en su orden de: 916.7, 683.3, 616.7 y 300.0 g/planta (figura 9).

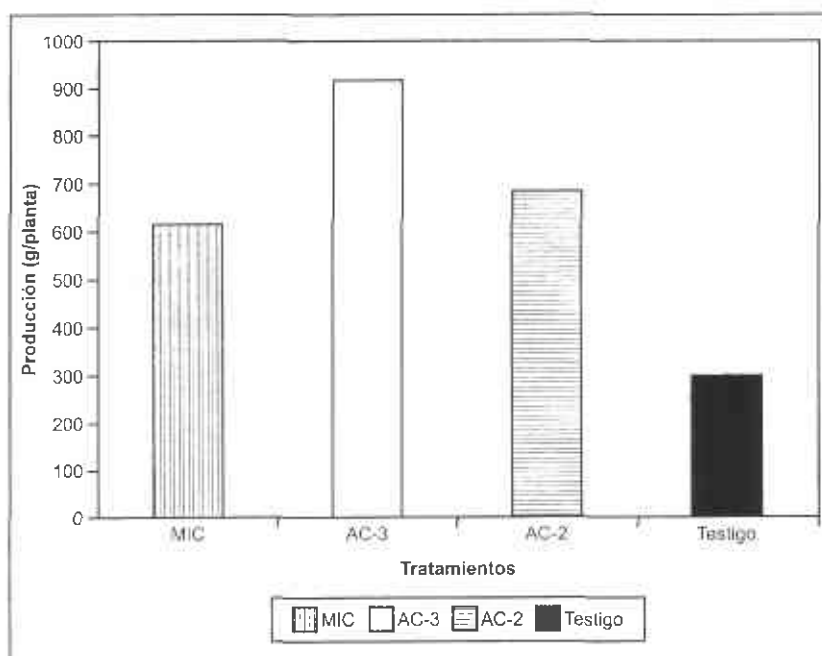


Figura 9. Efecto de la inoculación de la acacia (*Leucaena leucocephala*) sobre la producción de forraje verde (g/planta) a los 240 días después del trasplante

No fueron encontradas diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos en esta variable; las plantas inoculadas con la cepa AC-3 presentaron mayor producción de forraje verde del orden de 48.6, 34.1, 205.5 % en relación con las plantas inoculadas con las cepas *E. colombiana* y AC-2 y testigo, respectivamente.

3.8.2. Producción de forraje verde del algarrobligo (*Pithecellobium saman*). Las plantas inoculadas con las cepas AC-3, AC-2 y *E. colombiana* presentaron las mejores producciones de forraje verde; los valores obtenidos fueron de 430, 330 y 250 g/planta, respectivamente (figura 10).

La producción de forraje verde del algarrobligo no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$). Sin embargo, las plantas inoculadas con la cepa AC-3 presentaron incrementos de 72.0, 30.3 y 115.0 %, en relación con las plantas inoculadas con las cepas *E. colombiana*, AC-2 y testigo, respectivamente.

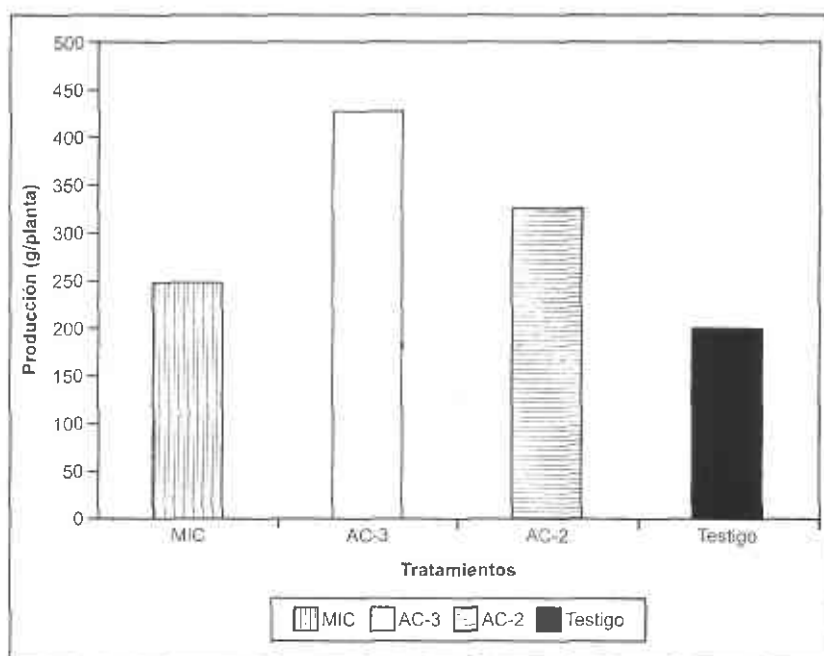


Figura 10. Efecto de la inoculación del algarrobligo (*Pithecellobium saman*) sobre la producción de forraje verde (g/planta) a los 240 días después del transplante

En general, se observó que los tratamientos de mayor producción de biomasa en la acacia y en el algarrobito fueron las inoculadas con *A. chroococcum*; este efecto puede explicarse por los mecanismos que poseen las bacterias para producir sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal que son activadas directamente por las plantas.

3.8.3. Producción de forraje verde del trupillo (*Prosopis juliflora*).

Las mejores respuestas fueron obtenidas en las plantas inoculadas con las cepas AC-3, *E. colombiana* y AC-2, siendo los valores obtenidos a los 240 días después del trasplante de 216.6, 191.6 y 145.0 g/planta, respectivamente (figura 11).

La producción de forraje verde en el trupillo no presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos; sin embargo, las plantas inoculadas con la cepa AC-3 presentaron una producción superior en 49.4, 13.0 y 4.0 % con relación a las inoculadas con las cepas AC-2, *E. colombiana* y testigo, respectivamente.

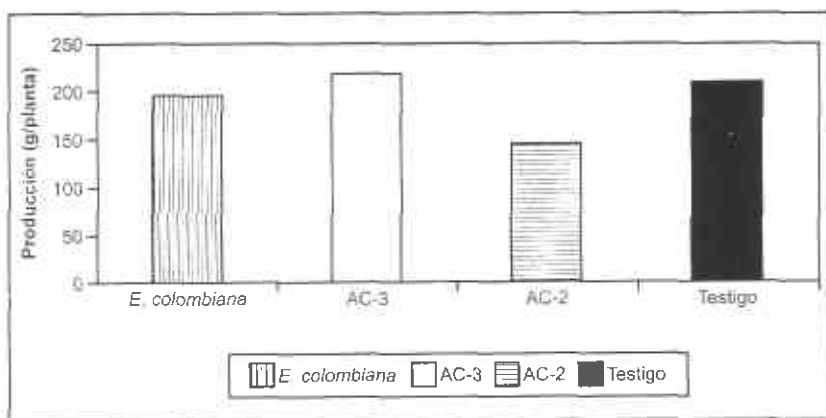


Figura 11. Efecto de la inoculación del trupillo (*Prosopis juliflora*) sobre la producción de forraje verde (g/planta) a los 240 días después del trasplante

3.9. Producción de materia seca comestible

3.9.1. Contenido de materia seca. Los resultados del porcentaje de materia seca se presentan en la tabla 3. El follaje de la acacia presentó

un porcentaje de materia seca que osciló de 31.1 a 36.4% en los diferentes tratamientos; entre tanto, el contenido de materia seca en el algarrobbillo fluctuó desde 38.9 a 41.7%, en los diferentes tratamientos y en el trupillo la variación obtenida fue de 46.8 a 54.6%. Roncallo y Buevas (1999) obtuvieron contenidos de materia seca que oscilaron de 34.0 a 44.0% en especies arbóreas nativas en la microregión bajo Magdalena.

En cultivos establecidos el porcentaje de materia seca encontrado en el follaje de arbóreas varía entre 50-57% (Silva, 1999), los cuales están de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente experimento.

Tabla 3. Porcentaje de materia seca de la fracción fina de tres leguminosas arbóreas. CI Motilonia. 1999

MATERIA SECA (%)			
TRATAMIENTOS	ACACIA	ALGARROBILLO	TRUPILLO
Testigo	31.1	41.7	46.8
<i>E. colombiana</i>	34.0	40.1	54.6
AC-3	34.0	38.9	50.6
AC-2	36.4	41.5	50.9

3.9.2. Producción de materia seca (fracción fina) de la acacia (*Leucaena leucocéphala*). Las plantas inoculadas con *E. colombiana* y AC-2 presentaron producciones de materia seca de 0.217 y 0.249 kg/planta, respectivamente (figura 12), la cual fue superior al grupo testigo (0.12 kg/planta).

Las diferencias encontradas entre los tratamientos no fueron significativas ($P > 0.05$); sin embargo, las plantas inoculadas con la cepa AC-3 presentaron producciones de materia seca superiores en 45.4, 27.2 y 165.9 % con relación a las inoculadas con las cepas *E. colombiana*, AC-2 y testigo, respectivamente.

Los anteriores resultados están de acuerdo con los encontrados por Siababa y De la Cruz (1986), quien obtuvo un incremento significativo de la materia seca de la *Leucaena* inoculada con MA y combinada con

Rhizobium. Estudios realizados con *Leucaena* sin inoculación han mostrado producciones de materia seca comestible de 1.3 a 9.5 t/ha (Lima, 1986; Silva, 1999 y Ribaski, 1992).

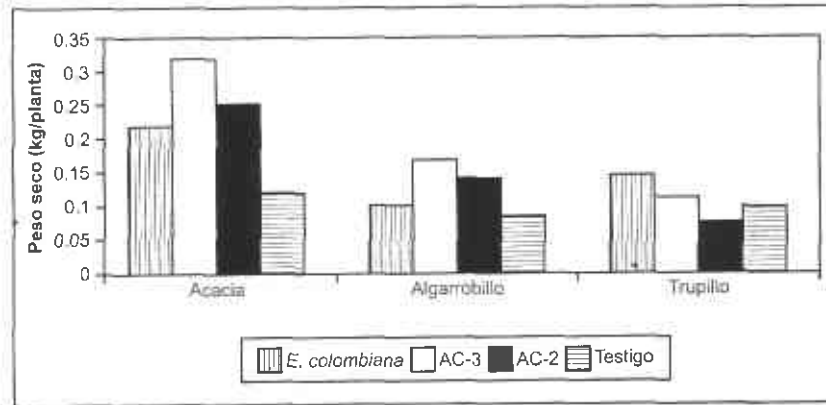


Figura 12. Producción de materia seca (fracción fina) de tres especies de leguminosas arbóreas a los 240 días después del trasplante

3.9.3. Producción de materia seca (fracción fina) del algarrobbillo (*Pithecellobium saman*). Las plantas inoculadas con las cepas AC-3 y AC-2 presentaron producciones de materia seca de 0.167 y 0.137 kg/planta, respectivamente mientras que el testigo produjo 0.083 kg/planta (figura 12).

El análisis de varianza no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos; sin embargo, en las plantas inoculadas con la cepa AC-3 la producción de materia seca fue mayor en 67.0, 21.8 y 101.2 % en relación con los tratamientos *E. colombiana*, AC-2 y el testigo, respectivamente.

Estas producciones de materia seca son superiores a las obtenidas por Sebert (1992) en plantas de algarrobbillo sin inocular a los 7 meses de establecido el cultivo, siendo la biomasa total de 50 g/planta.

3.9.4. Producción de materia seca (fracción fina) del trupillo (*Prosopis juliflora*). Las mayores producciones de materia seca en

las plantas de trupillo se registraron en las inoculadas con *E. colombiana* y AC-3 con promedios de 0.143 y 0.109 kg/planta, respectivamente. Los resultados obtenidos en las inoculadas con la cepa AC-2 y el grupo testigo fueron de 0.073 y 0.098 kg/planta, respectivamente (figura 12).

Las diferencias obtenidas entre los tratamientos no fueron significativas ($P>0.05$) en esta variable; no obstante, las plantas inoculadas con la cepa *E. colombiana* presentaron producciones de materia seca superiores en 31.1, 95.8 y 45.9 % en relación con las inoculadas con las cepas AC-3, AC-2 y testigo, respectivamente.

Estudios realizados con inoculaciones con cepas de *A. chroococcum* y MA, registraron efectos positivos sobre el peso seco y la absorción de fósforo en plantas de tomate (Bonilla y Galvis, 1999).

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente se pudo establecer que las plantas de mayor altura en la acacia, algarrobbillo y trupillo inoculadas con *E. colombiana* y *A. chroococcum* fueron las de mayor producción de materia seca, confirmando que existe una relación entre estas dos variables. Considerando que la inoculación no sólo provoca un incremento en la formación de biomasa, sino que afecta igualmente la distribución de nutrientes de ésta en la parte aérea.

El peso seco de la planta puede ser influenciada por la producción de vitamina A, el *A. chroococcum* ha sido señalado como productor de vitaminas (Petersin y Azcón, 1999; Rivillas *et al.*, 1995; citados por Garzón y Lamprea, 2001), lo cual es un factor determinante en la mayor producción de materia seca.

3.10. Producción de materia seca no comestible (fracción gruesa)

La producción de materia seca correspondiente a la fracción gruesa en las plantas de acacia registraron valores de 1.23 y 0.87 kg/planta para AC-3 y AC-2, respectivamente (tabla 4).

Las diferencias encontradas entre los tratamientos no fueron significativas ($P>0.05$); sin embargo, las plantas inoculadas con la cepa AC-3 pre-

sentaron incrementos superiores en 46.6, 39.9 y 161.7 % con relación a las inoculadas con las cepas *E. colombiana*, AC-2 y testigo, respectivamente. En estudios diversos realizados en plantas de acacia inoculadas con distintos hongos micorrízicos se han obtenido mayor peso seco de la parte aérea (Leite y Almeida, 1985).

Tabla 4. Promedio de producción de materia seca (fracción gruesa) de tres leguminosas arbóreas a los 240 días de edad. CI Motilonia, 1999

PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (fracción gruesa, kg)			
TRATAMIENTOS	ACACIA	ALGARROBILLO	TRUPILLO
Testigo	0.471	0.140	0.194
<i>E.colombiana</i>	0.839	0.255	0.367
AC-2	0.879	0.223	0.159
AC-3	1.230	0.396	0.314

Las plantas de algarrobbillo registraron valores para esta variable de 0.396 kg/planta y 0.255 kg/planta cuando fueron inoculados con las cepas AC-3 y *E. colombiana*, respectivamente (tabla 4). Las diferencias encontradas entre los tratamientos no fueron significativas ($P > 0.05$); sin embargo, las plantas inoculadas con la cepa AC-3 presentaron incrementos superiores en 55.2, 77.6 y 182.8 % con relación a las inoculadas con las cepas *E. colombiana*, AC-2 y testigo, respectivamente.

En las plantas de trupillo los tratamientos con *E. colombiana* y AC-3 son los de mejor producción de materia seca con promedios de 0.366 kg/planta y 0.314 kg/planta, respectivamente; por el contrario se analizó que las plantas sin inocular superaron al tratamiento AC-2 con un promedio de 0.197 y 0.159 kg/planta, respectivamente (tabla 4).

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en esta variable ($P > 0.05$). Sin embargo, las plantas inoculadas con la cepa *E. colombiana* presentaron incrementos superiores en 16.1, 130.8 y 89.0 % en relación a las inoculadas con las cepas AC-3, AC-2 y sin inocular, respectivamente.

Los resultados anteriores están de acuerdo con los obtenidos por Nieto y Frankenberger (1989), quienes encontraron que el *Azotobacter* sp. productor de la citoquinina incrementó la materia seca en raíces, tejidos, área foliar y brotes florales hasta cinco veces comparado con los testigos.

3.11. Contenido de nutrientes

Aparentemente la especificidad y/o preferencia de las cepas inoculadas por cada especie arbórea tiene influencia sobre la concentración de los diferentes nutrientes presentes en el follaje de las mismas, de tal manera que el comportamiento es diferente en cada uno de los tratamientos, no observándose tendencias claras o patrones generales.

3.11.1. Contenido de nutrientes de la acacia (*Leucaena leucocephala*).

En la acacia forrajera inoculada con micorrizas y con las cepas AC-2 se observó un ligero incremento en el contenido de proteína cruda y calcio, con relación al testigo; de otra parte, las plantas inoculadas con la cepa de AC-3 presentaron aumentos en la concentración de proteína cruda y reducción del calcio, mientras que el fósforo permaneció estable con relación al testigo (tabla 5). Diversos estudios comprobaron el incremento en el contenido de fósforo de la parte aérea de la acacia inoculada con micorrizas (Leite y Almeida, 1985).

3.11.2. Contenido de nutrientes del algarrobito (*Pithecellobium saman*).

Las plantas de algarrobito inoculadas con las cepas AC-2 y AC-3 presentaron incrementos en la concentración de calcio; entretanto en las plantas inoculadas con *E. colombiana* se observaron leves incrementos en los contenidos de proteína cruda y fósforo con relación al testigo (tabla 6).

3.11.3. Contenido de nutrientes de trupillo (*Prosopis juliflora*).

En el trupillo inoculado con *E. colombiana*, AC-2 y AC-3 se observó un incremento en los niveles de proteína cruda, calcio y fósforo con relación al grupo testigo (tabla 7).

Tabla 5. Contenido de nutrientes de la fracción fina de la acacia inoculadas con *E. colombiana* y *A. chroococcum*. CI Motilonia. 1999

TRATAMIENTOS	PC (%)	N (%)	P (%)	Ca (%)
Acacia sin inoculación	18.5	2.96	0.26	1.72
Acacia inoculada con <i>E. Colombiana</i>	20.8	3.33	0.22	2.01
Acacia inoculadas con AC-3	21.1	3.37	0.26	1.33
Acacia inoculadas con AC- 2	20.4	3.26	0.21	1.79

Tabla 6. Contenido de nutrientes de la fracción fina del algarrobillo inoculado con *E. colombiana* y *A. chroococcum*. CI Motilonia. 1999

TRATAMIENTOS	PC (%)	N (%)	P (%)	Ca (%)
Algarrobillo sin inoculación	20.3	3.25	0.22	0.77
Algarrobillo inoculado con <i>E. colombiana</i>	22.3	3.57	0.25	0.76
Algarrobillo inoculado con AC-3	21.1	3.37	0.26	1.33
Algarrobillo inoculado con AC-2	20.4	3.26	0.21	1.79

Tabla 7. Contenido de nutrientes de la fracción fina del trupillo inoculadas con *E. colombiana* y *A. chroococcum*. CI Motilonia. 1999

TRATAMIENTOS	PC (%)	N (%)	P (%)	Ca (%)
Trupillo sin inoculación	10.9	1.74	0.11	1.20
Trupillo inoculado con <i>E. colombiana</i>	15.3	2.44	0.28	1.50
Trupillo inoculado con AC- 3	18.3	2.92	0.26	1.64
Trupillo inoculado con AC- 2	19.9	3.18	0.26	1.49

4. CONCLUSIONES

En las condiciones en que se realizó el presente trabajo, los resultados obtenidos permiten concluir:

- Es observada mayor influencia de algunas cepas utilizadas en la inoculación sobre el tiempo de germinación; la cepa AC-3 disminuyó el tiempo de germinación de las semillas de iguá (*Pseudosamanea guachapele*), trupillo (*Prosopis juliflora*) y acacia (*Leucaena leucocephala*). Las cepas AC-1 y AC-2 también redujeron el tiempo de germinación del iguá (*Pseudosamanea guachapele*). No hubo un efecto significativo sobre el tiempo de germinación del algarrobillo (*Pithecellobium saman*).
- Los porcentajes de infección radical en plantas inoculadas con *E. colombiana* señalan que existe mayor afinidad de este microorganismo por ciertas especies arbóreas, siendo mayor la dependencia micotrófica de la acacia (*Leucaena leucocephala*) en relación con el algarrobillo (*Pithecellobium saman*) y el trupillo (*Prosopis juliflora*).
- Se evidencia el efecto de la inoculación con *A. chroococcum* y *E. colombiana* sobre las variables altura de la planta, grosor del tallo, producción de forraje verde, producción de materia seca (fracción fina y gruesa), siendo la cepa de AC-3 más eficiente cuando se inoculó al algarrobillo expresando su efecto sobre la altura, grosor, producción de forraje verde y producción de materia seca (fracción fina y gruesa). La cepa AC-3 presentó respuestas importantes al inocular la acacia (*Leucaena leucocephala*) en algunas variables (forraje verde y producción de materia seca).

- La cepa AC-2 jugó un papel importante sobre el grosor del tallo en la acacia y el trupillo; la *E. colombiana* presentó un efecto positivo sobre la producción de materia seca (fracción fina y gruesa) del trupillo.
- La inoculación no tuvo efectos significativos en la producción de materia seca, sin embargo se presentaron incrementos en las plantas inoculadas con las cepas de *E. colombiana*, AC-3 y AC-2 en comparación con el grupo testigo.
- Se observa una tendencia relacionada con la especificidad de las cepas inoculadas con las especies arbóreas y su influencia sobre la concentración de los diferentes nutrientes en el follaje. En el caso del *Prosopis juliflora* inoculado se presenta un incremento considerable en la concentración de nitrógeno, fósforo y calcio. Las plantas de *Pithecellobium saman* inoculadas con las cepas AC-2 y AC-3 presentan aumentos en su contenido de calcio. En la *Leucaena leucocephala* se obtuvieron niveles más altos del nitrógeno en relación con el testigo.

5. RECOMENDACIONES

- Seguir con investigaciones que evalúen el efecto de la inoculación con micorriza y *Azotobacter* sobre la concentración de nutrientes en la fracción comestible de las plantas.
- Continuar las investigaciones para evaluar los efectos de estos microorganismos nativos sobre otras arbóreas en condiciones de campo, haciendo especial énfasis en la particularidades de cada zona agroecológica.
- Evaluar las interacciones y efectos de los inóculos mixtos sobre especies arbóreas.
- Continuar evaluando necesidades prácticas de biofertilizantes sobre especies arbóreas y complementar los trabajos con la utilización de fertilizantes químicos especialmente en las fases iniciales de crecimiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J. F. y Valdés, M. 1993.** *Establecimiento y producción de Leucaena leucocephala con Rhizobium y dos cepas de Glomus sp. en un suelo ácido.* Pasturas tropicales 15 (2):29-32.
- Azcón, A. C. y Barea, J.M. 1992.** *Interactions between mycorrhial fungi and other rhizosphere microorganisms.* pp 163-198. En: Allen (Ed), Mycorrhizal functioning: An Integrative Plant fungal process. Chapman and Hall. New York.
- Barea, J. M. 1991.** *Vesicular arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility.* pp 1-10. En: B.A. Stewart (Ed), Advances in Soil Science Springer Verla. New York.
- Barea, J. M. y Olivares, J. 2001.** *Manejo de las propiedades biológicas del suelo.* pp 173-193. En: Jiménez Díaz (Ed), Agricultura sostenible. Editorial Mundi. Prensa, Madrid, España.
- Barea, J. M. y Jeffries, P. 1995.** *Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil- plant systems.* pp 521-560. En: Varma, and Hock, D (Ed), Mycorrhiza: Structure, function, molecular biology and biotechnology. Springer. Verlag. Berlin.
- Barea, J. M. y Azcon, A.C. 2001.** *Papel del los hongos micorrícicos en la estabilidad y productividad de sistemas suelo-planta sostenibles.* En: Memorias curso sobre producción de inoculantes biológicos y ecología de suelos tropicales. Bogotá, Colombia. P 1-7.
- Bethlenfalvay, G. J. y Linderman, R.G. 1992.** *Mycorrhizae in sustainable agriculture.* ASA Special publications (Eds.) No. 54, Madison, Wisconsin.

- Bonilla, R., Novo, R., Venegas, N., Galvis, A., Martínez, M., Parra, D. y Vanegas, O. 2000.** *Generación de tecnologías para la utilización de la fijación no simbiótica de nitrógeno como alternativa a la fertilización.* CORPOICA, Boletín de Investigación No. 5. Valledupar, Colombia. 40 pp.
- Bonilla, R. 2000.** *Utilización de hongos micorrizógenos en la producción agrícola.* CORPOICA, Boletín de investigación No. 6. Valledupar, Colombia. 42 pp.
- Bonilla, R. y Galvis, A. 1999.** *Respuesta del tomate (*Lycopersicon esculentum*) a la inoculación con cepas nativas de *Azotobacter sp.* en el C. I. Motilonia.* Corpocaribe (2): 27-35.
- Delgado, H., Castro, P y Castro, R. 1998.** *Biofertilizantes.* Ag. Technologies (Manures & Fertilizers) pp 58-62.
- Garzón, S. y Lamprea, S. 2001.** *Desarrollo de una preparación líquida de *Azotobacter sp.* utilizando como medio de cultivo los subproductos de una industria sucroquímica.* Tesis para optar el título de microbiólogas industriales. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Gerderman, J. W. y Nicolson, T. H. 1963.** *Spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi.* New Phytol 115: 667-674.
- Giovannetti, M. y Mosse, B. 1980.** *An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots.* New Phytol 84:489-500.
- Guerrero, E. y Hodson, E. 1990.** *Influencia del régimen de lluvias sobre la micorriza de una Podocarpacea andina.* En: Memorias del V Congreso Latinoamericano de Botánica y I Simposio Latinoamericano de Micorrizas. La Habana, Cuba. p. 24.
- Instituto Colombiano Agropecuario. 1989.** *Manual de análisis de suelos, plantas y aguas para riego.* ICA, Manual de asistencia técnica No. 47. Bogotá. 236 pp.

- Kannaiyan, S., Govindarajan, K. y Lewin, H. 1998.** *Effect of foliar spray of Azotobacter chroococcum on rice crop.* In: Applied and Environmental Microbiology. Germany. p 487-490.
- Leite, J. y Almeida, A. 1985.** Consulta internet. *Microbiología de suelos.*
- Lima, F. P. 1986.** Consulta internet. *Microbiología de suelos.*
- Martínez, V. R. y Dibut, A. B. 1994.** *La experiencia cubana en el uso de biofertilizantes.* En: Memorias Congreso de Microbiología de Suelos. La Habana, Cuba. p 18-32.
- Nappi, P., Jodice, R. y Kofler, A. 1981.** *Vesicular mycorrhizae in given different soil treatments in souththern the Italy.* Avance Special. 27-42.
- Nieto, K. F. y Frankenberger, U. T. 1989.** *Biosynthesis of cytokinins by A. chroococcum.* Soil Biology and Biochemistry 21 (7): 972-976.
- Ojeda, L., Hernández, C., Muñoz, P., Ferrazola, E. y Herrera, R. 1992.** *Efectividad de cepas de micorrizas en el desarrollo de la Leucaena leucocephala.* Pasturas tropicales 17 (2):36-38.
- Parra, J.M. 2001.** Consulta internet. *Microbiología de suelos.*
- Phyllips, J. M. y Hayman, D. S. 1970.** *Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection.* Trans. Br. Mycol. Soc. 55:158-161.
- Ribaski, J. 1992.** *Sistemas agroflorestais no semi-aridos brasileiro.* En: Memorias II encontro brasileiro de economía e planejamento forestal. Curitiba, Brazil. p 81-93.
- Roncallo, B. y Buelvas, S. 1999.** *Caracterización nutricional de plantas arbóreas nativas del bajo Magdalena.* CORPOICA, Informe anual de actividades. Valledupar, Colombia. 10pp.

- Salisbury, F. 1994.** *Fisiología Vegetal*. Ed. Grupo editorial iberoamericano. Pp. 319-325 y 395-423.
- Sánchez de P, M. 1999.** *Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos*. Feriva. S.S. (Ed.) Cali. Colombia.
- Sánchez de P, M. 1990.** *Relación entre las características químicas, físicas y microbiológicas de varios suelos del Valle del Cauca y su efecto en el crecimiento de algunos cultivos*. Tesis para optar el título de Master en Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Palmira. Colombia.
- Sebert, T. 1992.** *Adaptación, aceptación y valor nutritivo de especies arbóreas y arbustivas seleccionadas en dos sitios de la región de la Costa Caribe*. Tesis para optar el título de doctor en ciencias agrarias. Universidad de Gothingen, Alemania.
- Siababa, N. S. y De la Cruz, R. E. 1986.** *How do mycorrhizal and Rhizobium inoculation affect the growth of Leucaena leucocephala*. Special Vol of technology. P. 12-17.
- Silva, C. M. 1999.** *Avaliacao do genero leucaena na regio semi-árido de pernambuco*. En: Memorias simposio sobre sistemas agrosflorestais no Brasil, EMBRAPA- cpatsa. Sao Paulo, Brazil. p 11-22.
- Tudzynsky, J. 1999.** *Biosynthesis of gibberellins in Gibberella fujikuroi biomolecular aspects*. In: Applied Microbiology Biotechnology. p 298-310.