

Thesis
P451v
c.2

INSTITUTO COSTARRICENSE DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADUADOS

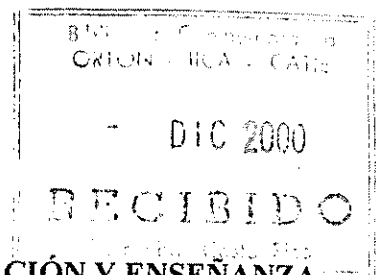
**VARIABILIDAD DE *Arachis pintoii*. PRODUCTIVIDAD Y CAPACIDAD
DE RECICLAR FÓSFORO EN ASOCIO CON *Acacia mangium***

POR

HENRRY ALEXI PERLA MENDOZA

CATIE

Turrialba, Costa Rica
2000



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADUADOS**

**VARIABILIDAD DE *Arachis pintoii*. PRODUCTIVIDAD Y CAPACIDAD DE
RECICLAR FÓSFORO EN ASOCIO CON *Acacia mangium***

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgraduados, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae

Por

HENRRY ALEXI PERLA MENDOZA

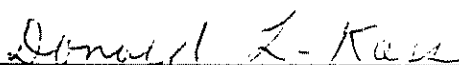
Turrialba, Costa Rica

2000


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgraduados del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE


FIRMANTES:



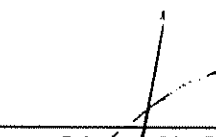
Donald Kass, Ph.D.
Consejero Principal



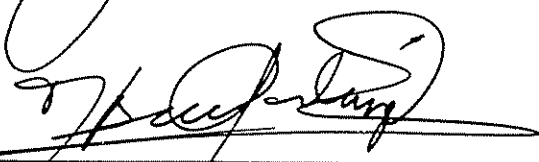
Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Gilberto Páez, Ph.D.
Director y Decano de la Escuela de Posgraduados



Henry Alexi Perla Mendoza
Candidato

DEDICATORIA

A DIOS todopoderoso por iluminarme el camino y por darme fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, por su esfuerzo y sacrificio dedicado a la formación de mi persona como un hombre de bien.

A mis hermanos y hermanas, por su constante apoyo, confianza, paciencia y motivación.

A mi esposa Mónica, por su cariño, comprensión, paciencia y por todo el amor que me ha brindado.

A mis sobrinos y sobrinas, por su cariño y afecto.

A mi hija Jacqueline, por su amor y cariño.

A mi patria, El Salvador por albergarme en su seno.

AGRADECIMIENTOS

Al CENTA y MAG de El Salvador, por brindarme la oportunidad de lograr este objetivo.

Al Dr. Donald Kass, por su constante apoyo y acertada dirección en la presente investigación.

Al Dr. Muhammad Ibrahim, por su dedicación, orientación y sobre todo por su incondicional amistad.

Al Dr. Francisco Jiménez, por su asesoría, confianza, cordialidad y por sus grandes contribuciones en la realización de este documento.

Al Dr. Patrick Chesney, por su gran amistad y aunque no fue miembro del comité hizo aportes muy importantes al trabajo.

Al personal de postgrado por toda la colaboración proporcionada.

Al M.Sc. Galileo Rivas, por su asesoría en el análisis de micorrizas.

A Patricia Leandro y Carlos, por la realización de los análisis de suelo.

A Asdrúbal, por su ayuda en análisis de micorrizas.

A Paulo Dittel, José Ángel Quiroz, Simón Solís, Joaquín Soto y Rodrigo Gamboa, por su trabajo en la fase de campo y laboratorio.

A mis compañeros de maestría y de promoción por su amistad y solidaridad.

A todas aquellas personas que contribuyeron en alcanzar esta meta.

Perla, H.A. 2000. Variabilidad de *Arachis pintoi*. Productividad y capacidad de reciclar fósforo en asocio con *Acacia mangium*. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 60 p.

Palabras claves: accesiones, fósforo total (Pt), fraccionamiento de fósforo, nutrientes foliares, proteína total (PT), materia seca (MS), longitud específica de raíz (LER).

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue identificar accesiones de *Arachis pintoi* con mayor capacidad para reciclar fósforo en asocio con *Acacia mangium*. El ensayo se realizó en una finca privada localizada en Guápiles, Costa Rica (125 msnm, precipitación promedio anual de 4560 mm, temperatura promedio de 24.6 °C y humedad relativa promedio de 87%). Se estudiaron las variables: fósforo total, fraccionamiento de fósforo, nutrientes foliares, micorrizas (MVA), materia seca y longitud específica de raíz. El diseño correspondió a bloques completos al zar con arreglo de parcelas en fajas divididas en tiempo.

El fósforo total y las fracciones de este elemento determinadas no mostraron diferencias significativas. Sin embargo, las fracciones de fósforo inorgánico extraídos con resinas (Pi/membrana) y fósforo orgánico extraído con carbonato de sodio (Po/NaHCO₃) presentaron una reducción en su concentración al final del estudio (seis meses) en todos los tratamientos, con excepción del T1 en el caso del Pi/membrana. En los nutrientes foliares, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en Mg, P y Zn, siendo la accesión CIAT 18744 que mostró el mejor resultado en la absorción de Mg (8866.67 mg/kg). Las accesiones CIAT 18744 Y CIAT 22150 mostraron las mayores cantidades de P (2400 mg/kg) y en el CIAT 22150 se encontró el mayor contenido de Zn (53.58 mg/kg).

Los resultados del recuento de esporas y la colonización de raíces por MVA no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). En este último, todas las accesiones presentaron porcentajes de colonización relativamente altos (arriba del 80%).

Se encontraron diferencias significativas en la producción de materia seca. Las distancias de muestreo (1.5 m, 3.0 m y 4.5 m) se comportaron diferentes ($p < 0.05$). Se manifestó un incremento en la producción de MS a medida el muestreo se alejaba de los árboles; los tratamientos 2 y 7 (CIAT22157 y CIAT 18744) mostraron una tendencia lineal ($P < 0.05$), mientras que el tratamiento 6 (CIAT17434) mostró un tendencia cuadrática. La producción de MS en las distancias de 3 y 4,5 m fueron estadísticamente similares, pero superiores a la obtenida a 1,5 m ($P > 0.05$). Asimismo, las fechas de medición (4, 5 y 6 meses), fueron diferentes estadísticamente ($P < 0.05$) encontrándose mayor producción de MS a los seis meses, en donde el tratamiento 7 (CIAT 18744) presento el mayor rendimiento (2010 kg ha^{-1}).

La longitud específica de raíz (LER) mostró diferencias significativas ($P < 0.05$); el tratamiento 6 (CIAT 17434) presentó el mayor valor de LER (74.13 cm mg^{-1}). Sin embargo, las distancias de muestreo (1.5 m, 3 y 4.5 m) no influyeron significativamente en el comportamiento de esta variable.

Perla, H.A. 2000. Variability of *Arachis pintoii*: Productivity and capacity for phosphorous recycling in association with *Acacia mangium*. M.Sc. Thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 60 p.

Key words: dry matter, foliar nutrients, accessions, phosphorous fractionation, specific root length, raw protein, total phosphorous

ABSTRACT

The objective of this present study was to identify accessions of *Arachis pintoii* with greater capacity to recycle phosphorous in association with *Acacia mangium*. The experiment was carried out in a private farm located in Guapiles, Costa Rica (125 masl, mean annual precipitation of 4560 mm, mean temperature of 24.6 °C and mean relative humidity of 87%). The variables studied were total phosphorous, phosphorous fractionation, foliar nutrients, vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM), dry matter and specific root length. The experimental design was a randomized complete block design with treatments arranged in strips as observations in time.

Total phosphorous and the fractionation of this element were not significantly different. Nevertheless, fractions of inorganic phosphorous extracted with resins (Pi/membrane), as well as organic phosphorous extracted with sodium carbonate (Po/NaHCO₃), were lower in concentration at the end of the study (six months) in all treatments, with exception of the T1 (CIAT 22155) in the case of Pi/membrane. Significant differences (P<0.05) were encountered in foliar nutrients Mg, P and Zn, with accession CIAT 18744 showing the best result in absorption of Mg (8866.67 mg/kg). Accessions CIAT 18744 and CIAT 22150 had the highest quantities of P (2400 mg kg⁻¹). Accession CIAT 22150 accumulated the highest quantity of Zn (53.58 mg kg⁻¹).

The results of the spore count and colonization of roots by VAM did not present significant (P>0.05) differences. In the latter, all accessions had relatively high percentages of colonization (higher than 80%).

Significant differences in dry matter production were observed. Sampling distances (1.5 m, 3.0 m y 4.5 m) were significantly different ($P < 0.05$). Dry matter production increased at distances at sampling distance closest to the tree rows; treatments 2 and 7 (CIAT22157 and CIAT 18744, respectively) showed a linear tendency ($P < 0.05$), while treatment 6 (CIAT17434) showed a quadratic tendency. Dry matter production at distances of 3 and 4.5 m was statistically similar, but highest production was obtained at 1.5 m ($P > 0.05$). At the same time, sampling dates (4, 5 and 6 months) were statistically different ($P < 0.05$) with higher dry matter production at 6 months in which treatment 7 (CIAT 18744) presented the highest yield (2010 kg ha^{-1}).

Specific root length (SRL) showed significant differences ($P < 0.05$); treatment 6 (CIAT 17434) presented the highest SRL value (74.13 cm mg^{-1}). Nevertheless, sampling distances (1.5 m, 3 y 4.5 m) did not significantly influence the behavior of this variable.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
CONTENIDO	ix
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Hipótesis de investigación	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Descripción de las especies en estudio	4
2.1.1 <i>Arachis pinto</i>	4
2.1.2 <i>Acacia mangium</i>	7
2.2 Funciones de los sistemas radiculares de las plantas	8
2.3 El fósforo (P) en los suelos	8
2.3.1 Contenido de P en el suelo	8
2.3.2 Formas de P en el suelo	9
2.3.3 El P en plantaciones forestales	10
2.4 Fraccionamiento de fósforo	10
2.4.1 Métodos empleados	10
2.4.2 Extracciones secuenciales de P	11
3. MATERIALES Y METODOS	13
3.1 Localización el estudio	13
3.2 Descripción y antecedentes del área experimental	14
3.3 Establecimiento del ensayo	14
3.3.1 Siembra de <i>Acacia mangium</i>	14
3.3.2 Siembra de <i>Arachis pinto</i>	14
3.4 Diseño Experimental	15
3.5 Unidades experimentales	15
3.6 Modelo matemático	15
3.7 Selección de accesiones	16
3.8 Tratamientos evaluados	16
3.9 Asignación de tratamientos dentro de los bloques	17
3.10 Variables medidas	17
3.11 Toma de datos	17

3.12 Duración del estudio	20
3.13 Análisis de los datos	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Fósforo total (Pt)	22
4.2 Fraccionamiento de P	24
4.3 Micorrizas	26
4.4 Contenido de nutrientes foliares	29
4.4.1 Macronutrientes	30
4.4.2 Micronutrientes	33
4.5 Materia seca (MS)	35
4.6 Longitud específica de raíz	39
4.7 Discusión de principales resultados	41
5. CONCLUSIONES	46
6. RECOMENDACIONES	48
7. BIBLIOGRAFIA	49
ANEXOS	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Resultados de recuento de esporas de MVA en accesiones de <i>A. pintoi</i> .	16
Cuadro 2.	Altura y diámetro promedio árboles a 6 meses de estudio y 3 años de edad.	20
Cuadro 3.	Fracciones de fósforo (P) y fósforo total promedio por tratamiento al inicio del estudio.	23
Cuadro 4.	Fracciones de fósforo (P) y fósforo total promedio por tratamiento a 6 meses de estudio.	23
Cuadro 5.	Recuento de esporas de MVA en 100 gr de suelo al inicio y a 6 meses de estudio.	27
Cuadro 6.	Colonización de MVA (%) por tratamiento en muestras de raíz de <i>A. pintoi</i> a 6 meses de Siembra.	28
Cuadro 7.	Contenido de macronutrientes por tratamiento en muestras foliares de <i>A. pintoi</i> a 6 meses de siembra.	29
Cuadro 8.	Producción de materia seca (kg/ha) a tres distancias en accesiones de <i>A. pintoi</i> a 6 meses de siembra.	37
Cuadro 9.	Longitud específica de raíz de <i>A. pintoi</i> por distancia y tratamiento a 6 meses de siembra.	40
Cuadro 10.	Balance de tres fracciones de P en el suelo determinadas Durante 6 meses de estudio.	42
Cuadro 11.	Cantidad de Mg, P y Zn (kg/ha) extraídos por materia seca de <i>A. pintoi</i> producida a seis meses de siembra.	42
Cuadro 12.	Eficiencia de la absorción de P en muestras foliares de <i>A. pintoi</i> a 6 meses de siembra.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Croquis de los puntos de muestreo dentro del área útil de cada unidad experimental.	19
Figura 2.	Contenido de fósforo total (Pt) en el suelo por tratamiento a 6 meses de ensayo.	23
Figura 3.	Contenido de fósforo inorgánico (Pi/membrana) al inicio y a 6 meses de estudio	24
Figura 4.	Contenido de fósforo inorgánico (Pi/NaHCO ₃) al inicio y a 6 meses de estudio.	25
Figura 5.	Contenido de fósforo orgánico (Po/NaHCO ₃) promedio por tratamiento al inicio y a 6 meses de estudio.	26
Figura 6.	Recuento de esporas de MVA por tratamiento al inicio y a 6 meses de estudio.	27
Figura 7.	Colonización de MVA en raíces de accesiones de <i>Arachis pintoï</i> a 6 meses de siembra.	29
Figura 8.	Contenido de macro nutrientes en foliares de <i>Arachis pintoï</i> a 6 meses de siembra.	31
Figura 9.	Contenido de Mg en muestras foliares de <i>Arachis pintoï</i> a 6 meses de siembra. Barras corresponden a error estándar de los datos.	32
Figura 10.	Contenido de fósforo (P) en muestras foliares de <i>Arachis pintoï</i> a 6 meses de siembra.	32
Figura 11.	Contenido de Cu y Zn en muestras foliares de <i>Arachis pintoï</i> a 6 meses de siembra. Barras corresponden a error estándar de los datos.	33
Figura 12.	Contenido de Mn y Fe en muestras foliares de <i>Arachis pintoï</i> a 6 meses de siembra.	34
Figura 13.	Contenido de proteína total (PT) en muestras foliares de <i>A. pintoï</i> a 6 meses de estudio.	35
Figura 14.	Producción de materia (MS) de <i>Arachis pintoï</i> a tres distancias de muestreo.	38
Figura 15.	Producción de materia seca (MS) por tratamiento en accesiones de <i>A. pintoï</i> a tres fechas de muestreo.	39
Figura 16.	Longitud específica de raíz (LER) de <i>A. pintoï</i> a 6 meses de siembra.	41
Figura 17.	(a) Absorción de Mg y P y (b) Absorción Zn por accesiones de <i>A. pintoï</i> durante 6 meses de estudio.	43

1. Introducción

Alrededor del 70% de los suelos tropicales están altamente meteorizados con complejos coloidales conformados por óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio que presentan un alto poder de fijación de fósforo, por lo que el fósforo disponible para las plantas es escaso (Fassbender, 1982), siendo por lo tanto un elemento crítico en sistemas agroforestales (Szott y Kass, 1993).

La baja disponibilidad de nutrimentos es el principal limitante para la adaptación y producción de forraje en el trópico. La adopción generalizada de cultivares de forrajeras depende de la eficiencia para obtener nutrimentos del suelo y su utilización para crecimiento. El crecimiento de las plantas en suelos ácidos es limitado a menudo por la actividad del ion de hidrógeno (H^+), por la toxicidad de aluminio (Al) y las deficiencias de nutrimentos como P, N y Ca. Las plantas adaptadas tienen atributos relacionados con su habilidad para obtener estos nutrimentos en ambientes con pH bajo y alto contenido de Al. El entendimiento de estas estrategias es fundamental para desarrollar procedimientos de selección más eficientes (Rao, 1995).

El potencial genético de las forrajeras tropicales y los ambientes en los cuales crecen, influyen en su desarrollo y producción. La variabilidad genética y la capacidad de la planta para obtener, traslocar, distribuir, acumular y utilizar nutrimentos minerales, son características importantes que influyen en la adaptación de las forrajeras a suelos de baja fertilidad. El grado de la variación inter e intraespecífica en la capacidad para obtener y utilizar nutrimentos, debe ser considerado en detalle con el objeto de desarrollar plantas adaptadas a las condiciones de suelos ácidos, de baja fertilidad o mejorar su eficiencia para obtener y usar nutrimentos (Rao, 1995).

En ese sentido el programa de forraje de CIAT ha venido evaluando especies forrajeras para condiciones de suelos ácidos en América Tropical y se ha identificado gramíneas (e.j. *Andropogon gayanus* y *Brachiaria humidicola*) y leguminosas (e.j. *Arachis pintoii* y *Cratylia argentea*) las cuales son persistentes en suelos marginales y ácidos (Argel y Maass, 1995). La leguminosa *A. pintoii* tiene una alta difusión en América Central para

uso en mezclas de gramíneas en la recuperación de pasturas degradadas y como cobertura en plantaciones y cultivos (Argel y Villareal, 1998). Adicionalmente, la siembra de *A. pintoii* como cobertura en plantaciones forestales o en mezcla con árboles de uso múltiple podrá permitir la recuperación de suelos a corto plazo, debido a la capacidad de esta especie de incorporar materia orgánica y fijación de nitrógeno (Ibrahim y Mannetje, 1998). Cabe notar que esta especie es muy persistente bajo sombra (Zelada, 1996) y tiene un buen potencial para su uso en sistemas silvopastoriles o sistemas agroforestales.

Una característica sorprendente de *A. pintoii* es la capacidad de absorber fósforo de suelos con bajo contenido de este. Lo anterior se relaciona con el intenso desarrollo de raíces finas encontrados en un suelo de textura fina y con una gran actividad de micorrizas vesículo arbusculares en un suelo de textura gruesa (Rao y Kerridge, 1995).

El papel de las micorrizas vesículo arbusculares es determinante para el suministro de P a las leguminosas y gramíneas forrajeras en los Oxisoles del trópico (Sieverding, 1991). Por tanto, es importante asegurar que hay un nivel satisfactorio de micorrizas o que se inocula el suelo cuando se evalúa el requerimiento de P y la respuesta a este elemento. Sin embargo, según Saif, (1987) *A. pintoii* parece depender menos de la absorción micorrizica de P que otras especies de plantas. *A. pintoii* tiene alta variación intraespecífica, por lo que existen posibilidades de identificar líneas de uso múltiple dentro de la especie (Argel y Villareal, 1998) las cuales tienen mayor capacidad de extraer P y otros atributos forrajeras como mayor tolerancia a sombra y alta productividad.

Por otro lado, *Acacia mangium* es una especie que también forma asociaciones con hongos micorrizicos vesículo arbusculares (Cruz y Yantasath, 1993), adaptada a suelos ácidos, se muestra como una especie promisoría para mejorar el contenido y disponibilidad de P en el suelo (Velasco, *et al.*, 1999).

1.1 Objetivos.

General: Identificar accesiones de *A. pintoi* con mayor potencial de asociación benéfica en sistemas agroforestales.

Específicos:

- Evaluar el potencial de accesiones de *A. pintoi* para captar y reciclar fósforo.
- Estudiar asociaciones simbióticas y morfológicas que explican las diferencias en la obtención de fósforo.
- Evaluar la producción de biomasa aérea y el contenido de nutrientes en diferentes accesiones de *A. pintoi*.
- Comparar las accesiones *A. pintoi* en términos de la producción de biomasa aérea y la extensión de raíces.

1.2 Hipótesis de investigación.

1. Las diferencias en la capacidad de captar fósforo se deben a las accesiones de *Arachis pintoi*.
2. La colonización por hongos micorrízicos y la longitud específica de raíz, explican las diferencias en la obtención de fósforo entre las accesiones de *A. pintoi*.
3. La producción de biomasa aérea y el contenido de nutrientes foliares entre accesiones de *Arachis pintoi* en asocio con *A. mangium* se comportan diferente.
4. La producción de biomasa aérea y la extensión de raíces de *A. pintoi* es afectada por la presencia de árboles de *A. mangium* plantados en asocio.

2.0 Revisión de literatura

2.1 Descripción de las especies en estudio

2.1.1 *Arachis pintoi*

A. pintoi es una leguminosa herbácea utilizada en pasturas, originaria de Brasil, introducida a Costa Rica por el Programa Tropical de Pasturas del CIAT y evaluada desde 1979 (Joenje, 1996). Tiene un amplio rango de adaptación, pero rinde mejor en condiciones tropicales desde los 0-1800 m.s.n.m. con una lluvia total anual de 2000-3500 mm por año. Es conocido que crece bien en áreas con un incremento temporal en la precipitación y está también adaptado a sobrevivir en largos períodos secos (CIAT, 1992; CIAT, 1993b).

Sin embargo, su desarrollo como leguminosa forrajera comercial actualmente se basa casi exclusivamente en una sola accesión (CIAT 17434), liberado en Costa Rica con el nombre de cv. mejorador. Aunque esta accesión es muy exitosa, tiene ciertas limitaciones tales como un establecimiento lento y una limitada tolerancia a la sequía (Kerridge y Pizarro, 1995). No obstante, últimamente se identificó la línea CIAT 18744 (cv. porvenir) como promisoría (Argel y Villareal, 1998).

Morfología.

El *A. pintoi* tiene alta variación intraespecífica, por lo que existen posibilidades de identificar líneas de uso múltiple dentro de la especie (Argel y Villareal, 1998). La variación morfológica entre nuevas líneas de *A. pintoi*, específicamente esta referida al color de las flores, forma y tamaño de folíolos y presencia o ausencia de pelos radicales en los entrenudos, estípulas y pecíolos (Valls, 1992).

Es una leguminosa rastrera perenne, con un hábito de crecimiento por estolones. Produce una densa red de estolones, frecuentemente con raíces (Ibrahim, 1994). Los puntos de crecimiento se mantienen bien protegidos del pastoreo siendo un mecanismo de defensa contra defoliación animal (Ibrahim, 1994). Eleva sus hojas cuando crece en combinación con pastos, lo cual le permite competir con este mientras hace accesible

las hojas al pastoreo. La planta florece y produce semillas todo el tiempo durante las estaciones (Grof, 1985).

Atributos de *Arachis pinto*

A. pinto, es la leguminosa más productiva, más persistente y de mejor calidad que se ha identificado como adaptada y promisoría para las pasturas de gramíneas y leguminosas en el trópico húmedo y en las sabanas de Colombia. Esta leguminosa ha demostrado también ser útil como cobertura verde en los cultivos arbóreos (CIAT, 1993a) debido a su capacidad para competir con malezas y en el mejoramiento del suelo.

Investigaciones recientes demostraron la capacidad que tiene esta especie para controlar malezas y nemátodos en tomate y café. También, presenta un alto potencial de fijación de nitrógeno, ya que un 64% de su N se fija de la atmósfera. *A. pinto* es una leguminosa persistente bajo pastoreo y estudios de dinámica de población en pasturas muestra que esta especie puede dominar los pastos de poca agresividad (Ibrahim, 1994). Este autor encontró que la carga animal y el hábito de crecimiento de pasturas para asociar esta leguminosa son importantes para mantener un buen balance de la leguminosa en la pastura. Se encontró que la proporción de *A. pinto* en mezcla de *Brachiaria humidicola* incremento de 2 a 70% en solo 3.5 años de evaluación, sin embargo en mezcla con *Brachiaria brizantha* *A. pinto* alcanzo 28%.

Requerimientos nutricionales.

Los principales factores que afectan el crecimiento de las plantas en suelo ácido son las deficiencias de Ca y de Mg y las toxicidades de Al y Mn. Frecuentemente se presentan deficiencias de los macronutrientes P y S y de los micronutrientes Mo, Zn, Cu, y B. En las leguminosas, la simbiosis, específicamente la nodulación y fijación de N es generalmente afectada en un mayor grado que el crecimiento de la planta hospedante (Kerridge, 1991). La línea liberada de *A. pinto*, CIAT 17434, ha demostrado ser productiva y resistente en un rango de Oxisoles y Ultisoles con pH ácido y bajo nivel de bases intercambiables (Argel y Pizarro, 1992).

Se asume que *A. pintoi*, CIAT 17434 se adapta bien a las condiciones de suelo ácido debido a los altos rendimientos de forraje y de semilla cuando se cultiva en suelo Oxisol (isohipertérmico con 37% de arcilla; pH 5.0; 2.0% de C total; cationes intercambiables (cmol/kg) de 2.6 Al, 0.21 Ca, 0.1 Mg, 0.06 K; 2.1 mg/kg de P extraíble (Bray II); y 89% de saturación de Al). Aplicándose insumos (kg/ha) de 20 P, 20 K, 12 Mg y 12 S (Grof, 1985). Otras accesiones de *A. pintoi*, como CIAT 18744, 18748 y 18751, han mostrado un crecimiento similarmente bueno en suelo ácido (Ultisol con pH 4.6; 5.2% de C total; cationes intercambiables (cmol/kg) de 3.0 Al, 0.9 Ca, 0.38 Mg, 0.17 K; 2.0 mg/kg de P extraíble (Bray II); y 70% de saturación de Al) en San Isidro, Costa Rica (Rao y Kerridge, 1995).

Asociaciones simbióticas

a) *Rhizobium*

Desde hace mucho tiempo se conoce que el género *Arachis* nodula con rizobios de diferentes especies de plantas hospedantes, aunque relativamente pocas cepas de *Rhizobium* son capaces de lograr altos niveles de fijación (Allen y Allen, 1981).

Varios factores determinan la necesidad de inocular las leguminosas forrajeras, inclusive, si previamente se ha cultivado o no una especie forrajera u otra leguminosa en el área. Algunos factores afectan la persistencia de rizobios nativos en el suelo, y otros afectan la capacidad de los rizobios inoculantes de infectar las leguminosas. Por ejemplo, un bajo pH y problemas relacionados con toxicidad de aluminio y manganeso, deficiencia de calcio, salinidad, humedad del suelo, presencia de depredadores microbianos y niveles de mineralización de N (Woomer y Boohlool, 1989).

b) Micorrizas vesículo arbusculares (MVA)

Las micorrizas constituyen un caso de simbiosis mutualista, que ha recibido considerable atención en los últimos años, ya que su presencia permite a las plantas crecer mejor en suelos infértiles, al incrementar la absorción de nutrientes relativamente

inmóviles en el suelo, especialmente fósforo (Sánchez, 1989); a cambio de este beneficio, la planta proporciona fotosintatos que el hongo no puede fabricar (Harley y Smith, 1983)

La colonización de las raíces por MVA es importante para el suministro de P a leguminosas y gramíneas en los Oxisoles tropicales. Estudios demuestran que las especies de MVA difieren considerablemente en su capacidad para mejorar el crecimiento de las plantas y la absorción de P de varias especies de leguminosas y gramíneas forrajeras tropicales (Maass, 1995).

Experimentos realizados en invernadero para evaluar la importancia de la asociación de leguminosas con MVA en el crecimiento de la planta, en dos tipos de suelo (no esterilizado) a diferentes niveles de aplicación de P (0 y 200 kg/ha) se probó la respuesta de *A. pintoii* a la inoculación con MVA. Aunque la población inicial de esporas en ambos suelos fue similar (400 espora/100 g de suelo) la colonización de MVA y la respuesta de *A. pintoii* a la aplicación de P fue mayor en suelo franco arenoso que en suelo franco arcilloso (Rao, 1995).

2.1.2 *Acacia mangium*

A. mangium, es una especie indígena de la parte noroeste de Australia, Papúa Nueva Guinea y el este de Indonesia, incluyendo las Islas Molucas. En América Central se le conoce como "Mangium" o "Acacia". Es un árbol que en su hábitat natural alcanza de 25 a 30 m de altura y hasta 90 cm de dap; el fuste es recto y libre de ramas hasta mas de la mitad de la altura total (CATIE, 1992); aunque fuera de su ámbito natural, muestra la tendencia a producir más de un eje y a bifurcarse a diferentes alturas (EE.UU/NRC, 1983).

Presenta hojas compuestas en los primeros días después de germinación, luego son reemplazadas por pecíolos aplanados, simples y de borde entero con dimensiones de hasta 25 cm de largo por 10 cm de ancho. Las flores son espigas de 10 cm de largo, pequeñas, blancas o amarillentas. Los frutos son vainas angostas de 10 cm de largo,

retorcidas. Las semillas están unidas a un arilo naranja y son de color negro, duras, de 3.5 mm de largo (CATIE, 1994).

Se considera una especie potencial para cultivarla en las zonas bajas húmedas de la región, para usos variados, entre los que la madera para construcción y mueblería, ocupa un lugar preferencial. Tiene un crecimiento rápido y la adaptación a sitios de características físicas y químicas del suelo relativamente difíciles, con pocas opciones de producción forestal (CATIE, 1992).

2.2 Funciones de los sistemas radiculares de las plantas

Los sistemas radiculares de plantas realizan dos funciones primarias: una de ellas es la adquisición de recursos del suelo (principalmente, agua e iones disueltos) y la otra es la de anclaje. Otras funciones de los sistemas radiculares como: almacenamiento, síntesis de reguladores de crecimiento, propagación, y dispersión, pueden ser vistos como secundarios (Fitter, 1996).

A menudo el contenido de agua y nutrientes minerales en los suelos son escasos, los vegetales resuelven esta problemática produciendo grandes sistemas radiculares para su respectiva absorción. Si bien en muchas plantas las raíces sólo representan del 20 al 50% de su peso total, en algunos casos (sobre todo cuando las plantas se hallan estresadas por insuficiencia de agua o nitrógeno mineral) hasta un 90% de la biomasa vegetal total se encuentra en las raíces (Salisbury y Ross, 1994). Esta biomasa consiste de raíces estructurales (diámetro de medio a grande y relativamente permanente), raíces finas (menos de 2 mm de diámetro y micorriza asociada (Nair, 1997).

2.3 El fósforo (P) en los suelos

2.3.1 Contenido de P en el suelo

El P es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos (nitrogenados) que pueden ser volatilizados y lixiviados. De la alta estabilidad resulta

una baja solubilidad que a veces causa deficiencias de disponibilidad de P para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Los contenidos de P en suelos de áreas tropicales son muy variables. En el caso de P total se ha reportado valores extremos de 18 mg kg⁻¹ de suelo en Oxisoles de Venezuela y de 3300 mg kg⁻¹ de suelo en derivados de cenizas Volcánicas de América Central (Fassbender y Bornemisza, 1987). De acuerdo a Fassbender (1993), estas variaciones en el contenido de P total se deben a la variabilidad de las rocas parentales, al desarrollo de los suelos y a otras condiciones edafológicas y ecológicas.

Aparentemente, los suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de P que los desarrollados de sedimentos meteorizados y redepositados en las áreas tropicales bajas. En algunos casos de materiales parentales ricos en P resultan suelos con alto contenido de ese elemento (Fassbender y Bornemisza, 1994). Sánchez y Salinas (1981), mencionan que el 82% de los suelos agrícolas del trópico Americano presentan deficiencias de fósforo.

El contenido total de P también depende de la textura de los suelos, tanto en áreas de clima templado como tropical, ya que cuanto más fina su textura, mayor es el contenido de P total. De manera general, el contenido de P total disminuye con la profundidad del suelo, lo que es explicable por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos. El valor de P total en los suelos de áreas tropicales parece estar ligado al contenido de materia orgánica en ellos, y con su evolución pedológica. Al aumentar la concentración de materia orgánica y fosfatos orgánicos en los suelos, se obtiene una mayor cantidad de P total (Fassbender y Bornemisza, 1994).

2.3.2 Formas de P en el suelo

El fósforo se presenta en el suelo casi exclusivamente como ortofosfato, y todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico (H₃PO₄). Los fosfatos del suelo se pueden dividir en dos grandes grupos: inorgánicos y orgánicos. En los inorgánicos, los iones hidrógeno del ácido fosfórico dan origen a enlaces estéricos y el resto puede ser

reemplazado por cationes. La participación del P orgánico en el P total generalmente varía entre 25 y 75%, en casos extremos estos límites pueden extenderse hasta 3 y 85% (Fassbender y Bornemisza, 1994).

2.3.3 El P en plantaciones forestales

En las plantaciones forestales, el ciclo del P paulatinamente toma un carácter cerrado y de transferencias internas ya que la ganancia de P a través de las lluvias, fertilización o meteorización de minerales fosfatados de la roca madre es pequeña. Los árboles absorben el H_2PO_4^- del suelo y los fosfatos orgánicos y los van acumulando en la fitomasa; con la producción de residuos vegetales se acumula P en la capa de mantillo, a través de la mineralización se liberan nuevamente iones de ácido fosfórico que pueden ser absorbidos por las plantas. La pérdida de P con el agua de filtración se puede también considerar pequeña. Con la cosecha de madera se exportan las cantidades de P acumuladas en el sistema. En caso de monocultivos forestales se debe, por lo menos, reponer o compensar las cantidades extraídas por medio de una fertilización (Fassbender, 1993).

2.4 Fraccionamiento de fósforo

2.4.1 Métodos empleados

Los métodos utilizados para la determinación de fósforo orgánico (Po) son básicamente de dos tipos, de extracción y de ignición, aunque existe controversia respecto a la eficiencia de uno u otro método (Henríquez, *et al.*, 1992).

El método de ignición se fundamenta en la descomposición del Po por tratamiento calorífico a 550 °C, determinando la cantidad de fósforo inorgánico (Pi) liberado después del tratamiento (Bowman, 1989). Aunque resulta mucho más sencillo que los métodos de extracción, la ignición puede causar pérdidas de Po por volatilización (Tiessen, 1989).

Los métodos de extracción involucran el tratamiento del suelo con ácidos y bases fuertes, por lo que pueden sobrestimar la cantidad de Po debido al efecto de hidrólisis que causan las soluciones alcalinas (Tiessen, 1989).

Estudios de fraccionamiento de fósforo orgánico realizados por Henríquez, *et al.*, (1992) en ocho suelos pertenecientes a cuatro órdenes (Andisoles, Ultisoles, Vertisoles e Inseptisoles) de Costa Rica, utilizando la metodología de fraccionamiento de P orgánico propuesta por Bowman y Cole (1978a y b) modificada por Hands (1987). Determinaron que los suelos más jóvenes (Andisoles e Inseptisoles) presentaron las cantidades más altas de ambas fracciones. En donde el aporte de la fracción de P orgánico con respecto al P total, fue del 22 al 60% y encontrándose en seis de los ocho suelos estudiados más de 40% de P orgánico.

2.4.2 Extracciones secuenciales de P

De acuerdo a Tiessen (1989), los estudios que permiten una mayor comprensión de lo que sucede con el P en los suelos están basados en las extracciones secuenciales, específicamente el método propuesto por Chang y Jackson (1957). Este método emplea secuencialmente NH_4Cl para extraer el Pi lábil, NH_4F para disolver Pi asociado al aluminio, NaOH para Pi ligado al Fe, ditionato-citrato para formas de Pi ocluido ligado a formas de Fe muy poco solubles, HCl para disolver Pi ligado al Ca, y el residuo final es analizado como Pt por fusión con NaCO_3 .

Williams y Walker (1969), introdujeron una modificación a este paso final, analizando Po por ignición más extracción ácida.

El fraccionamiento en P-Ca, P-Fe+Al y en formas más ocluidas o no extractables de P ha servido como base para entender las transformaciones del P en el curso de la pedogénesis en varios estudios en zonas templadas y tropicales (Tiessen, 1989).

Además, Kelley *et al.* (1983) incorporaron el análisis del contenido de Po en todas las fracciones obtenidas por el método de Chang y Jackson (1957) y encontraron que el Po

representa una proporción considerable del P total y juega un papel significativo en la nutrición de las plantas en suelos de bosques templados.

Por otra parte, Hedley *et al.*, (1982) desarrollaron un método alternativo de fraccionamiento de P que permite cuantificar tanto las formas lábiles como moderadamente lábiles y recalcitrantes del P tanto inorgánico como orgánico. Este método consiste en una extracción secuencial con resinas intercambiadoras de iones, bicarbonato de sodio, NaOH después de zonificar, HCl y una extracción final con $H_2SO_4-H_2O_2$.

Se asume que con resinas se extraen las formas de P más disponibles biológicamente y con $NaHCO_3$ pH: 8,5 las formas lábiles del Pi adsorbido débilmente en la superficie de sesquioxidos, compuestos cristalinos de P o carbonatos y parte del P microbial. Hedley *et al.* (1982).

3.0 Materiales y métodos

3.1 Localización del estudio

El estudio se realizó en la finca "Las Delicias" propiedad del Sr. Federico Rojas, localizada en el cantón de Pococí, provincia de Limón, zona Atlántica de Costa Rica, ubicada a 10° 09' Latitud Norte y 83° 38' Longitud Oeste y una altura de 125 msnm. La zona se clasifica como bosque tropical lluvioso (Cockrane, 1982).

Características climáticas

La temperatura media anual del lugar es de 24.6 °C, y los promedios anuales de máxima y mínima son de 26.9 °C y 17.8 °C, respectivamente. La humedad relativa promedio es de 87%, con una variación mensual de $\pm 3\%$. La precipitación media anual es de 4560 mm, donde el 70% de ésta cae de junio a diciembre; en febrero y marzo (período menos lluvioso) llueven 431 mm aproximadamente. El brillo solar promedio es de 4 h día⁻¹, la nubosidad durante los meses de invierno lo reduce a 3.5 horas y aumenta a 4.5 en los meses de diciembre a mayo. La radiación solar global varía a lo largo del año entre 13 y 17 MJ m⁻² día⁻¹. La mayor radiación ocurre de febrero a mayo y en septiembre (16.7 MJ m⁻² día⁻¹) que corresponden a meses de baja precipitación. En los meses más lluviosos se registra una radiación entre 13 y 14 MJ m⁻² día⁻¹ (Zelada 1996).

Suelos

Los suelos de esta zona se clasifican como Typic Dystrudept, correspondiente a la asociación Germania. Se localizan en terrenos ligeramente ondulados a ondulados. Son suelos moderadamente profundos a profundos, con textura moderadamente fina a fina, de color pardo oscuro a pardo amarillento oscuro y pardo amarillento en el subsuelo. El suelo es de permeabilidad moderada y fertilidad baja a media (MAG, 1991).

3.2 Descripción y antecedentes del área experimental

El área donde se realizó el experimento, consiste en una plantación de *Acacia mangium* y *Eucaliptus deglupta* establecida en septiembre de 1997, a un distanciamiento de 9 metros entre hileras y 3 metros entre árboles. En 1999 se estudiaron mezclas de árboles con gramíneas mejoradas (*Brachiaria brizanta*, *B. decumbens* y *Panicum maximum*) para identificar la combinación más productiva en sistemas silvopastoriles.

En el presente estudio, se utilizó una parte de la plantación sembrada con *Acacia mangium* (0.6 ha).

3.3 Establecimiento del ensayo

3.3.1 Siembra de *Acacia mangium*

La siembra de los árboles se realizó en septiembre de 1997, con plántulas provenientes de bolsas y aplicando aproximadamente 70 g de fertilizante 10-30-10 al hoyo. El distanciamiento utilizado para las especies arbóreas fue de 9 x 3 m. En cada bloque se establecieron seis hileras de árboles con una longitud de 33 m, en la dirección 40° ES, quedando cada uno estos con cinco callejones. Alrededor de cada parcela se dejó 3 m, hasta el próximo árbol sembrado (Andrade, 1999).

3.3.2 Siembra de *Arachis pintoi*

El *A. pintoi* se estableció en la segunda quincena de enero del 2000, para lo cual se preparó el terreno controlando las malezas en forma manual y mediante aplicaciones de herbicidas (paraquat) (Villareal, *et al.*, 1996) y de glifosato para eliminar gramíneas y malezas de hoja ancha predominantes. El distanciamiento fue de 0.5 m entre hileras y en posturas continuas dentro de las hileras (Granstedt y Rodríguez, 1996), con el fin acortar el tiempo de cobertura y evitar incidencia de malezas dentro de las parcelas mientras se establece.

3.4 Diseño experimental

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas en fajas divididas en tiempo y tres repeticiones, donde las accesiones de *A. pinto* fueron la parcela principal, las franjas la subparcela y la frecuencia de medición la sub-subparcela.

3.5 Unidades experimentales

Cada parcela (unidad experimental) consistió de un área total de 102.0 m² y un área útil de 27.0 m². Las unidades experimentales estuvieron constituidas por cuatro árboles de *Acacia mangium* y una accesión de *Arachis pinto*, en donde se tomaron las mediciones respectivas.

3.6 Modelo matemático

El modelo matemático del diseño experimental a emplear, es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = M + B_i + A_j + (B^*A) + D_k + (B^*D) + (A^*D) + (B^*A^*D) + T_m + (A^*T) + (D^*T) + (A^*D^*T) + E_e.$$

Donde:

M: es la media general.

B_i: efecto del bloque *i*.

A_j: efecto de la accesión *j*.

*B^*A*: efecto de la interacción bloque por accesión (error a).

En las variables que se realicen mediciones repetidas en tiempo, se adicionan los siguientes componentes al modelo

D_k: efecto de la distancia *k*.

*B^*D*: efecto de la interacción bloque por distancia (error b).

*A^*D*: efecto de la interacción accesión por distancia.

*B^*A^*D*: efecto de la interacción bloque por accesión por distancia (error c).

T_l: efecto del tiempo (frecuencia de medición).

*A^*T*: efecto de la interacción accesión por tiempo.

*D^*T*: efecto de la interacción distancia por tiempo.

*A^*D^*T*: efecto de la interacción accesión por distancia por tiempo.

E_e: error experimental.

3.7 Selección de accesiones

La selección de accesiones evaluadas, se realizó de acuerdo a características morfológicas observadas en bancos de reproducción de 15 accesiones existentes, de algunos estudios revisados en literatura y de resultados parciales del recuento de esporas de micorrizas realizadas en cuatro accesiones seleccionadas al azar (cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de recuento de esporas de MVA en accesiones de *A. pintoii*.

Accesiones	No. de esporas por 100 g de suelo
CIAT 17434 *	425
CIAT 22148 *	440
CIAT 22150 *	375
CIAT 22151	210

Datos obtenidos en el laboratorio de patología del CATIE.

* Accesiones seleccionados

Con base en lo anterior, se seleccionaron 7 de 15 accesiones de *A. pintoii* con diferentes características morfológicas: forma y tamaño de las hojas, desarrollo de estolones, desarrollo radicular y vigor.

3.8 Tratamientos evaluados

En este experimento el factor en estudio fue el *A. pintoii*, y los niveles correspondieron a las accesiones de este mismo.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

To: *A. mangium*

T1: *A. mangium* + *A. pintoii* CIAT 22155

T2: *A. mangium* + *A. pintoii* CIAT 22157

T3: *A. mangium* + *A. pintoii* CIAT 22159

T4: *A. mangium* + *A. pintoii* CIAT 22148

T5: *A. mangium* + *A. pintoii* CIAT 22150

T6: *A. mangium* + *A. pintoii* CIAT 17434

T7: *A. mangium* + *A. pintoii* CIAT 18744

3.9 Asignación de tratamientos dentro de los bloques

La asignación de tratamientos dentro de los bloques se realizó al azar: Primero se asignó números romanos a los bloques (I, II Y III), posteriormente, se numeraron las parcelas dentro de cada bloque y se procedió a sortear la posición de los tratamientos dentro de cada bloque.

3.10 Variables medidas

Durante el estudio se evaluaron las siguientes variables:

- Fósforo total en el suelo.
- Fraccionamiento de fósforo en suelo.
- Micorrizas (MVA).
- Nutrientes foliares.
- Materia seca (MS).
- Longitud específica de raíz (LER).

3.11 Toma de datos

a) Fósforo total

Para esta variable se efectuaron dos mediciones: 1) al inicio del estudio (siembra de *A. pinto*) se tomaron muestras de suelo únicamente en la parcela testigo de cada bloque. Lo anterior, considerando que todas las parcelas fueron manejadas de forma similar previo al experimento, por lo que se tomó el supuesto, que el fósforo total se comporte de forma similar dentro de cada bloque y 2) al final del experimento (6 meses) en todas las unidades experimentales para medir el comportamiento de este elemento entre los tratamientos.

Las muestras de suelo para el P total y fraccionamiento se efectuaron a 15 cm de profundidad.

Los análisis de estas muestras se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos, tejido vegetal y aguas del CATIE.

b) Fraccionamiento de fósforo

Se tomaron muestras de suelo al inicio y al final de la fase campo, en todas las unidades experimentales de cada bloque.

Los análisis de fraccionamiento de P fueron parciales, solo se determinaron las fracciones orgánicas e inorgánicas extraídas con resinas y carbonato de sodio (NaHCO_3). Se asume que con resinas se extraen las formas de P más disponibles biológicamente y con NaHCO_3 las formas lábiles del Pi adsorbido débilmente en la superficie de sesquióxidos (Hedley *et al.*, 1982).

Se utilizó el procedimiento descrito por este mismo autor, con la modificación que se utilizó membranas de 2.5*2.5 para la primera extracción del P-resina y además la metodología se terminó en la segunda fracción.

c) Micorrizas (MVA)

En esta variable se efectuaron muestreos de suelo y de raíces para determinar la presencia de esporas. Al inicio del estudio se muestreo únicamente en la parcela testigo de cada bloque y; al final se realizó un muestreo de suelos y raíz en todas las unidades experimentales, donde se efectuaron recuentos de esporas en el suelo y el desarrollo de micelio del hongo micorrízico (como porcentaje de colonización) en las células de las raíces, en el segundo.

Los análisis respectivos fueron realizados en el laboratorio de fitopatología del CATIE, empleando para tal efecto la combinación de dos métodos propuestos por Koske y Gemma, (1989) y Brundrett, *et al.*, (1996).

d) Nutrientes foliares

Este se realizó al final del estudio (6 meses), tomando muestras foliares de *A. pintoi* para determinar las proporciones de los macro y micronutrientes más importantes (Ca, Mg, K, P, N, Cu, Mn, Fe y Zn), los que fueron determinados en el laboratorio de suelos y tejido vegetal y aguas del CATIE.

e) Biomasa aérea

La biomasa aérea de *A. pintoii* se muestreo cada ocho semanas (Villareal y Zuniga, 1996) a partir del cuarto mes de establecido (tres mediciones).

Las muestras foliares se tomaron de toda la planta (hojas+tallo) de *A. pintoii*, considerando un área de 0.0625 m^2 por cada muestra (tres submuestras en cada parcela y medición), mediante un aro metálico de $0.25 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}$ y a tres distancias de los árboles de *A. mangium* (1.5 m, 3.0 m y 4.5 m), (fig. 1). Las muestras se pesaron en forma individual registrándose el dato como tal. Posteriormente, se secaron en horno a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por un periodo de 72 horas y se obtuvo el peso seco de estas.

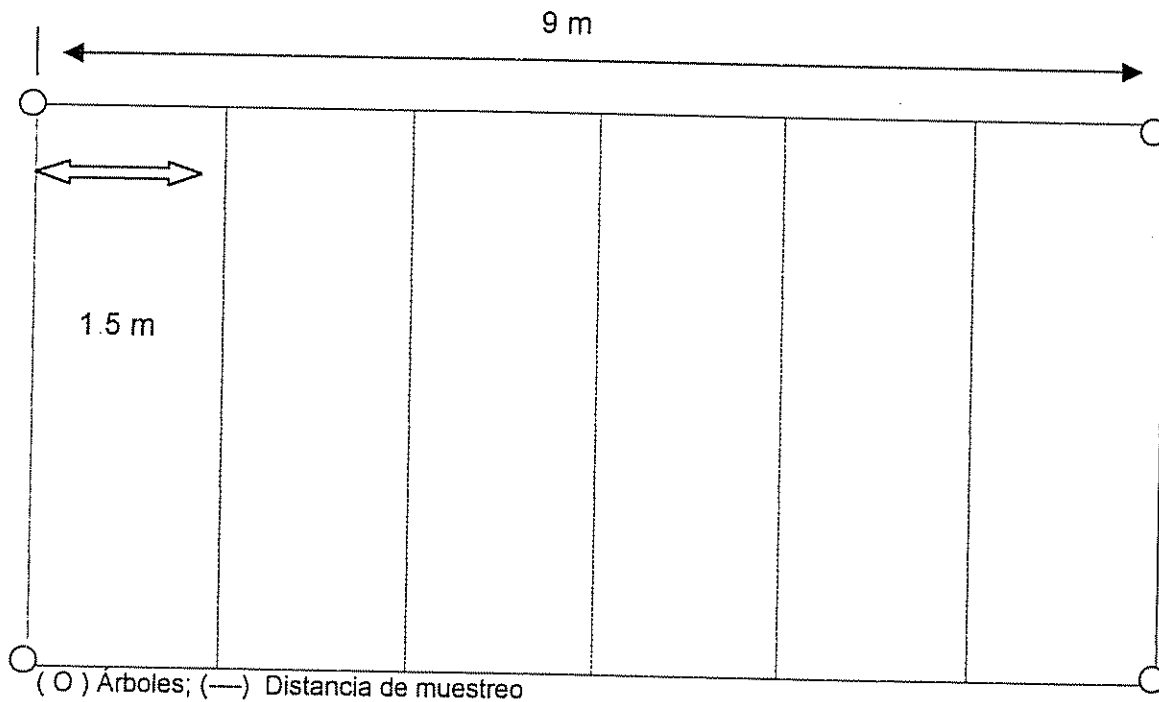


Fig. 1. Croquis de los puntos de muestreo dentro del área útil de cada unidad experimental.

f) Longitud específica de raíz

El muestreo de suelo-raíz para determinar la longitud específica de raíz, se efectuó a tres distancias de la leñosa (fig. 1) y a tres profundidades (0 - 15 cm, 15 - 30 cm y 30 - 60 cm) considerando cada profundidad como muestra independiente, pero la información se analizó promediando las tres profundidades por distancia de muestreo. Se tomaron datos al final del estudio, mediante muestreos con barreno "Göettingen" en profundidades de 0-15 cm, de 15-30 cm y de 30-60 cm en cada parcela. Se lavaron manualmente las muestras de suelo raíz; filtrando las raíces con un tamiz de 0.5 mm y mediante el uso de microscopio electrónico se separaron las raíces de *A. mangium*, quedando únicamente las de *A. pintoi*. A través del "software" WinRhizo Pro®, Régent instruments, Québec, Canada, se obtuvo la longitud total (cm) de raíces finas menores o iguales a 2 mm de diámetro, posteriormente se secaron las muestras en horno a 65 °C por 72 horas y se obtuvo el peso seco (mg) de raíces en cada muestra. Con estos datos se calculó la longitud de raíz específica cuyas unidades son "cm mg⁻¹".

Por otro lado, en los árboles de *A. mangium* se midió altura total y el diámetro a la altura del pecho (dap), al final del estudio con el objeto de caracterizar el sistema (cuadro 2).

Cuadro 2. Altura y diámetro promedio árboles a 6 meses de estudio y 3 años de edad.

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Altura promedio (m)	10,27	12,37	12,16	12,43	12,97	12,19	12,73	11,74
Diame. promedio. (cm)	16,39	19,00	18,96	18,59	18,53	18,04	20,22	17,24

3.12 Duración del estudio

La fase de campo del experimento tuvo una duración de 6 meses (enero a julio/2000), iniciando con la siembra del material experimental (enero) y posteriormente se realizó la toma de datos respectivos durante el periodo previsto.

3.13 Análisis de los datos

Los datos obtenidos se les efectuó análisis de varianza (ANDEVA) por medio del paquete estadístico SAS. Luego se aplicó la prueba Tukey y análisis de regresión, en los casos donde los ANDEVA reportaron diferencias significativas, para determinar la mejor respuesta entre los tratamientos a las variables evaluadas.

También se realizaron pruebas de normalidad a todos los resultados de las variables, encontrándose problemas de este tipo únicamente en los datos de la variable longitud específica de raíz, en los que se realizaron transformaciones numéricas a logaritmo natural (Ln) para corregir la distribución anormal que presentaban los datos originales. Sin embargo, en los resultados (promedios por tratamiento) se presentaron los datos originales.

4.0 Resultados y Discusión

4.1 Fósforo total (Pt)

El análisis de varianza para Pt no detectó diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos (Anexo 1). Los análisis estadísticos al inicio del periodo, no fueron realizados, debido a que solo se muestreó una parcela por bloque. Lo anterior considerando que el Pt en un lapso de tiempo corto (6 meses) es difícil que varíe. Estos resultados al inicio y final del experimento (cuadros 3 y 4 y fig.2), muestran que, en el caso del T0, hubo un ligero incremento en el Pt de 71.33 mg kg^{-1} , posiblemente promovido por la descomposición de materia orgánica producto de residuos de malezas y raíces del pasto removidos aéreamente, mediante aplicación de herbicidas (Glifosato) previo al establecimiento del ensayo.

Por otro lado, al final del estudio, el T6 (CIAT 17434) alcanzó el valor más alto de Pt (1436 mg kg^{-1}), mientras, el T5 (CIAT 22150) presentó el más bajo nivel ($1318.67 \text{ mg kg}^{-1}$). Si tomamos como punto de partida el Pt del T0 al inicio del ensayo (1251 mg kg^{-1}) y lo comparamos con el Pt del tratamiento 6 al final del estudio, obtenemos un incremento de 185 mg kg^{-1} , este valor duplica el incremento obtenido en la diferencia de T0 al inicio y al final. Lo anterior, demuestra que las adiciones de P producto de la senescencia de raíces de accesiones de *A. pintoii* con mayor potencial de extracción de este elemento, son importantes en el reciclado de nutrientes, particularmente del P.

El comportamiento similar ($P > 0.05$) de los datos obtenidos entre tratamientos, puede deberse entre otras cosas, al corto tiempo de duración del ensayo y a la poca variación que generalmente presenta el Pt del suelo en el tiempo.

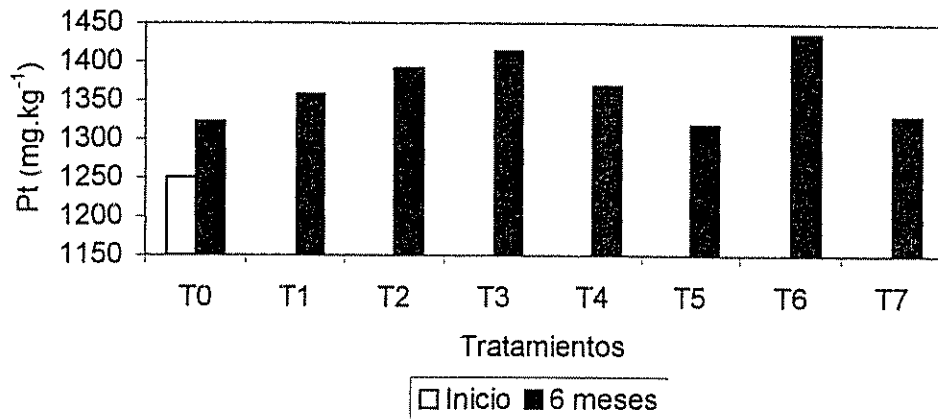


Fig. 2. Contenido de fósforo total (Pt) en el suelo por tratamiento a 6 meses de ensayo.

Cuadro 3. Fracciones de fósforo (P) y fósforo total promedio por tratamiento al Inicio del estudio.

Fracción de P	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	mg kg ⁻¹							
Pi/membrana	0,75	0,68	0,75	1,19	0,63	0,63	0,80	0,75
Pi/NaHCO ₃	16,10	15,00	18,37	14,87	15,89	12,67	16,15	15,99
Po/NaHCO ₃	48,40	51,33	54,84	47,73	54,47	47,07	51,88	50,91
P/Total	1251,00							

Cuadro 4. Fracciones de fósforo (P) y fósforo total promedio por tratamiento a los 6 meses de estudio.

Fracciones	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	Mg kg ⁻¹							
Pi/membrana	0,74	0,68	0,43	0,68	0,37	0,37	0,74	0,37
Pi/NaHCO ₃	21,38	17,31	15,35	17,05	19,09	14,44	19,61	15,85
Po/NaHCO ₃	44,23	45,12	47,86	45,9	47,63	44,43	49,16	40,5
P/Total	1322,33	1357,33	1391,67	1414	1369	1318,67	1436	1330

4.2 Fraccionamiento de P

No se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre las fracciones de P determinadas (Anexo 2). Los resultados de las fracciones al inicio y final del estudio (Cuadros 3 y 4) muestran que el fósforo inorgánico (Pi) extraído con resinas (Pi/membrana) manifestó una tendencia a disminuir al final del estudio (fig. 3); este comportamiento se presentó marcadamente en el T4 (CIAT 22148), pasando de 0.63 mg/kg al inicio del ensayo a 0.37 mg kg⁻¹ al final, es decir, decreció en un 58.73%.

Al inicio del ensayo, el T3 presentó el mayor contenido de esta fracción (1.19 mg kg⁻¹) y los tratamientos 4 y 5 mostraron las cantidades más pequeñas (0.63 mg kg⁻¹); mientras que al final, los tratamientos T6 y T0 obtuvieron los valores más altos de Pi extraído con resinas (0.74 mg kg⁻¹) y el T2 con la proporción menor (0.43 mg kg⁻¹).

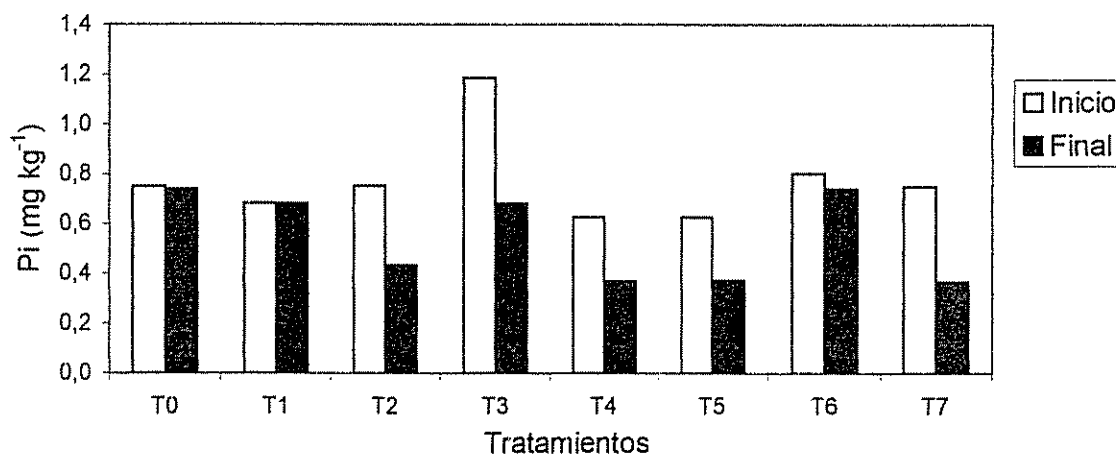


Fig.3. Contenido de fósforo inorgánico (Pi/membrana) al inicio y a 6 meses de estudio.

Las fracciones de Pi extraídos con bicarbonato de sodio (Pi/NaHCO₃) presentaron la tendencia a incrementar las cantidades (fig. 4), comparando las proporciones al inicio y el final del estudio. Con excepción del T7, el cual prácticamente no varió sus proporciones de Pi durante el periodo evaluado. Los tratamientos 0, 4 y 6, fueron los que manifestaron más claramente esta tendencia.

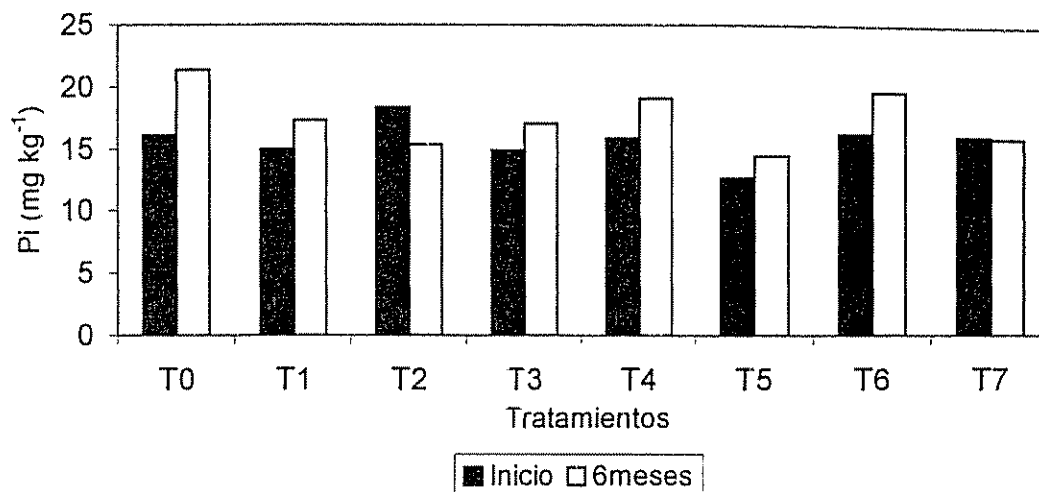


Fig. 4. Contenido de fósforo inorgánico ($P_i/NaHCO_3$) al inicio y a 6 meses de estudio.

Con relación a la fracción de fósforo orgánico (P_o) extraída con carbonato de sodio ($P_o/NaHCO_3$), todos los tratamientos presentaron una tendencia a disminuir sus proporciones al final del estudio (fig.5). Aunque no se muestran mayores discrepancias en el porcentaje que disminuyeron al final del estudio; estos oscilaron entre 5.24% (T6) y 20.45% para el tratamiento 7. Este resultado pudo presentarse por la capacidad que presentan las accesiones de *A. pintoi* para extraer P_o del suelo.

Sin embargo, la disminución del P_o presentada al final estudio, no se debe de considerar como una pérdida, al contrario, gran parte de las proporciones extraídas por las diferentes accesiones serán devueltas al suelo mediante la constante senescencia de raíces y de hojas, aunque en esta última el proceso es más lento.

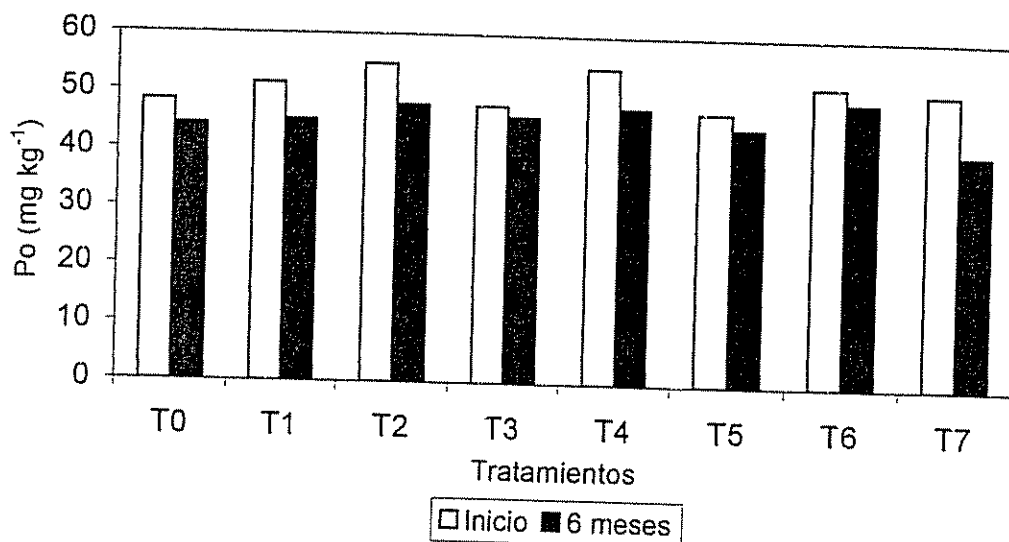


Fig. 5. Contenido de fósforo orgánico ($Po/NaHCO_3$) promedio por tratamiento al inicio y a 6 meses de estudio.

4.3 Micorrizas

Número de esporas

Los resultados del recuento de esporas no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos (Anexo 3). Los valores obtenidos (cuadro 5 y fig. 6) muestran diferencias numéricas bastante macadas, debido, quizá, a que las cantidades de esporas en el suelo pueden variar sus proporciones de acuerdo a factores bióticos y abióticos (Sieverding, 1989). En ese sentido, *Acacia mangium* también es un hospedero que forma asociaciones con hongos micorrízicas vesículo arbusculares (Cruz y Yantasath, 1993). Lo anterior pudo ser la causa de la disminución de las poblaciones de esporas al final del estudio.

Los promedios por tratamiento del recuento de esporas al final del estudio, oscilaron entre 273 esporas por 100 g de suelo en el T7 (CIAT 18744) y 715 esporas por 100 g de suelo para en el T3 (CIAT 22159).

En general se encontraron altas concentraciones de esporas en el suelo, lo suficiente para establecer relaciones simbióticas con raíces de plantas afines al hongo. Cabe mencionar que las poblaciones de esporas formadoras de MVA encontradas en las muestras de suelo, corresponden al género *Glomus*. Cuervo, (1997), en un estudio del

efecto de endomicorrizas y rizobacterias en plántulas de dos especies forestales a nivel de vivero, encontró diferencias significativas en el número de esporas en la especie *Tabebuia rosea* con un valor de 256 esporas/100 g de suelo.

Cuadro 5. Recuento de esporas de MVA en 100 g de suelo al inicio y a 6 meses de estudio.

Tratamientos								
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Inicio								
Promedio	503							
6 meses								
Promedio	338	393	278	715	448	346	626	273
Desv. Est.	52	231	50	159	356	51	507	67

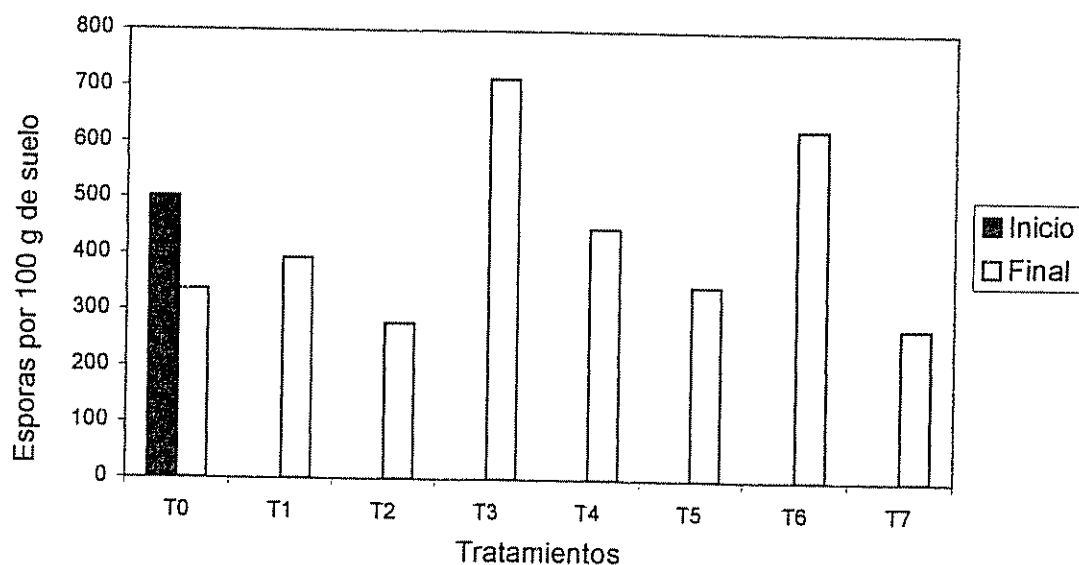


Fig. 6. Recuento de esporas de MVA por tratamiento al inicio y a 6 meses de estudio.

Colonización por MVA

Los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) en el porcentaje de colonización (Anexo 4). Los promedios por tratamientos, indican que todos las accesiones presentaron porcentajes de colonización de raíces arriba del 80% (cuadro 6 y fig. 7).

No se manifestó una tendencia clara entre la relación del número de esporas en el suelo y el porcentaje de colonización de raíces. En algunos casos los tratamientos con mayor número de esporas presentaron porcentajes de colonización menor (T3 y T6), sin embargo, los tratamientos 1, 2, 4 y 7 fueron consistentes; es decir, presentaron comportamientos acordes entre el número de esporas y el porcentaje de colonización. El T5 discrepó de los anteriores, ya que tuvo un ligero incremento en el porcentaje de colonización comparado con el número de esporas encontradas en el suelo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, pareciera que, no necesariamente debe de existir una correlación entre el número de esporas y el porcentaje de colonización de raíces, o quizá fue muy corto el tiempo de estudio para observar una mejor tendencia entre la relación del número de esporas y el porcentaje de colonización, aunque este último fue relativamente alto, como lo mostró el desarrollo del micelio dentro de las raíces (espacios intercelulares) fue pobre. *A. pintoii* presenta un establecimiento lento (Kerridge y Pizarro, 1995), lo que pudo limitar en cierta medida, el tiempo para que se desarrollaran de una mejor forma el micelio del hongo dentro de la raíz.

Cuadro 6. Colonización de MVA (%) por tratamiento en muestras de raíz de *A. pintoii* a 6 meses de Siembra.

	Tratamientos						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	%						
Promedio	86,7	84,0	80,0	90,7	96,0	86,7	83,3
Desv. Est.	12,9	16,0	20,0	4,6	0,0	12,2	12,2

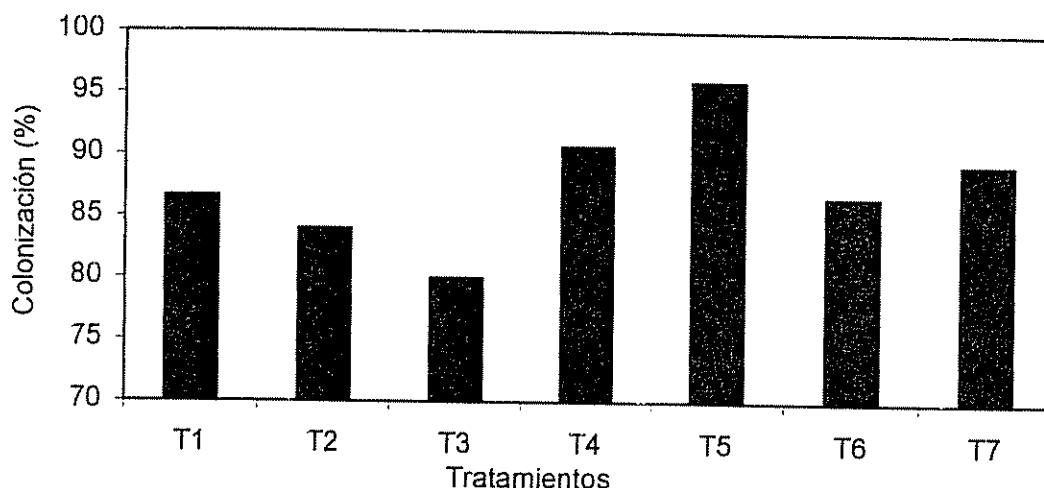


Fig. 7 Colonización de MVA en raíces de accesiones de *Arachis pintoi* a 6 meses de siembra

4.4 Contenido de nutrientes Foliares

Los resultados de los macro nutrientes (Ca, Mg, K, P y N), micro nutrientes (Cu, Zn, Mn, y Fe) y proteína cruda (PC) analizados en las muestras foliares de *A. pintoi* se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Contenido de macronutrientes por tratamiento en muestras foliares de *A. pintoi* a 6 meses de siembra.

Nutrientes	Tratamientos						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Ca	7067	6367	6467	6033	5300	7000	6767
Mg	7767	5533	7600	7100	8200	7433	8867
K	19667	15467	19367	16133	15467	17267	17867
P	2167	2100	2133	2033	2400	2200	2400
N mg kg ⁻¹	31833	28133	31533	29400	31167	31300	34000
Cu	16,00	17,69	16,11	18,62	19,71	19,00	16,45
Zn	44,57	46,47	51,14	42,45	53,58	42,51	44,79
Mn	1091	1031	696	1055	1060	1052	856
Fe	2267	3943	2101	4201	3459	4024	1917
PC	198933	175867	197100	183767	194800	195633	212500

4.4.1 Macronutrientes

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en Mg y P, pero no en Ca, K y N (Anexo 5).

Magnesio (Mg)

En el caso del Mg, los valores obtenidos indican que el tratamiento 7 (accesión CIAT 18744 o cv. Porvenir) presentó el mayor resultado en la absorción de este elemento (8866 mg kg^{-1}) seguido por tratamiento 5 (8200 mg kg^{-1}) mientras que el tratamiento 2 obtuvo el resultado más bajo (5533 mg kg^{-1}) (Fig. 8). Estos datos muestran que hay diferencias entre especies en cuanto su capacidad de aprovechar Mg del suelo. Algunas especies de árboles también tienen la capacidad de acumular Mg (Sanchez et al., 1985). En un estudio en el trópico húmedo de Costa Rica, Esquivel *et al.*, (1997) encontró que la concentración de Mg del suelo bajo mezcla de *Erythrina berteroana* y *Brachiaria brizantha* tuvo un incremento significativo en el periodo de evaluación (3 años).

Fósforo (P)

Con relación al P, los tratamientos 7 y 5 (accesiones CIAT 18744 y CIAT 22150) tuvieron el contenido de P foliar más alto (2400 mg kg^{-1}) (fig. 8), sin embargo no difirieron estadísticamente de los tratamientos 6, 1, 3 y 2, pero si fueron superiores ($P < 0.05$) al tratamiento 4 (2000 mg kg^{-1}) que manifestó menor cantidad de este.

La mayor capacidad presentada por las accesiones CIAT 18744 y CIAT 22150, en la acumulación de P foliar, es un atributo muy importante, que hace de ellos, las accesiones con mayor potencial para extraer y reciclar P. La accesión de *A. pintoii* CIAT 18744 fue liberada en Costa Rica y esta siendo utilizada en asocio con gramíneas para incrementar la productividad animal, y como cobertura en plantaciones (Argel y Villarreal, 1998). La mayor concentración de P foliar de esta especie tiene mucha importancia en cuanto el reciclaje de P y en la nutrición animal tomando en cuenta que

la mayoría de gramíneas no tienen los niveles críticos de P. para satisfacer los requerimientos del animal (Mc Dowell, *et al.*, 1997)

Cada planta, en este caso accesiones de *A. pintoi*, tienen su propio mecanismo para adaptarse al medio y obtener nutrientes. En ese sentido los tratamientos 7 y 5 presentaron porcentajes de colonización de raíces por MVA mayores que los demás tratamientos, lo cual se reflejó en el mayor contenido de P foliar de estos mismos.

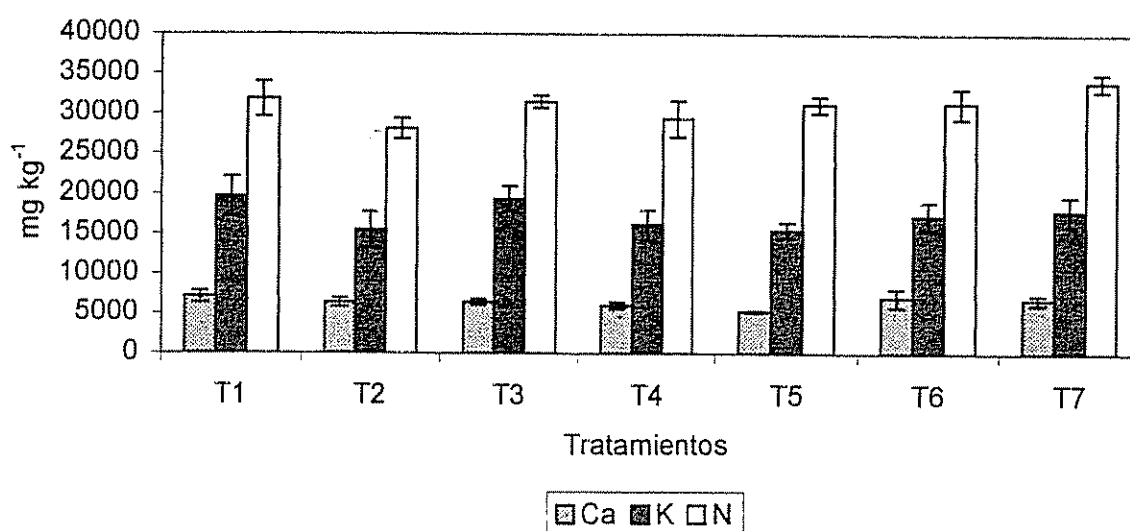


Fig. 8. Contenido de macro nutrientes en foliares de *Arachis pintoi* a 6 meses de siembra. Barras corresponden a error estándar de los datos.

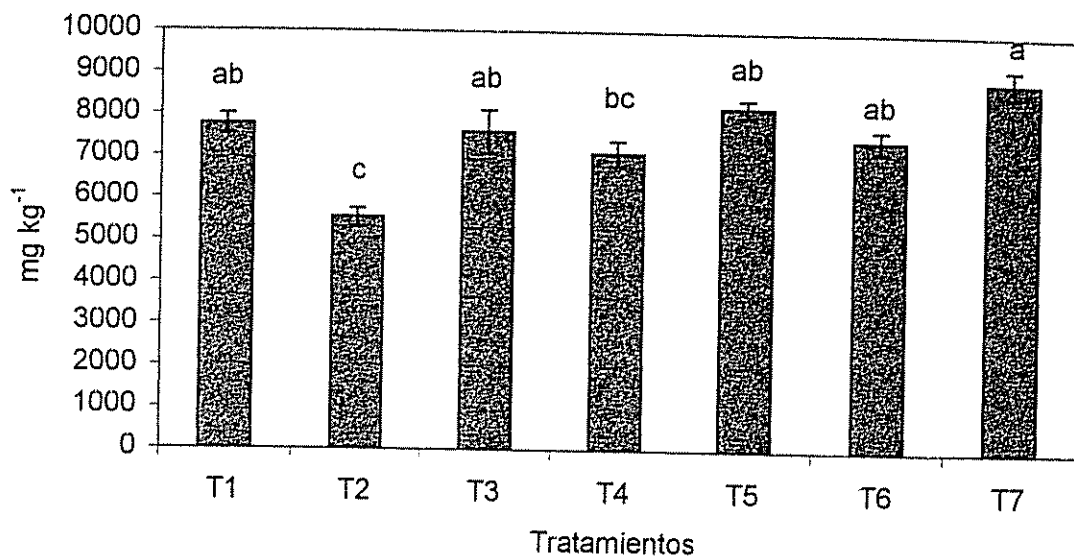


Fig. 9. Contenido de Mg en muestras foliares de *Arachis pinto* a 6 meses de siembra. Barras corresponden a error estándar de los datos. Tratamientos con letras iguales no difieren estadísticamente ($P>0.05$).

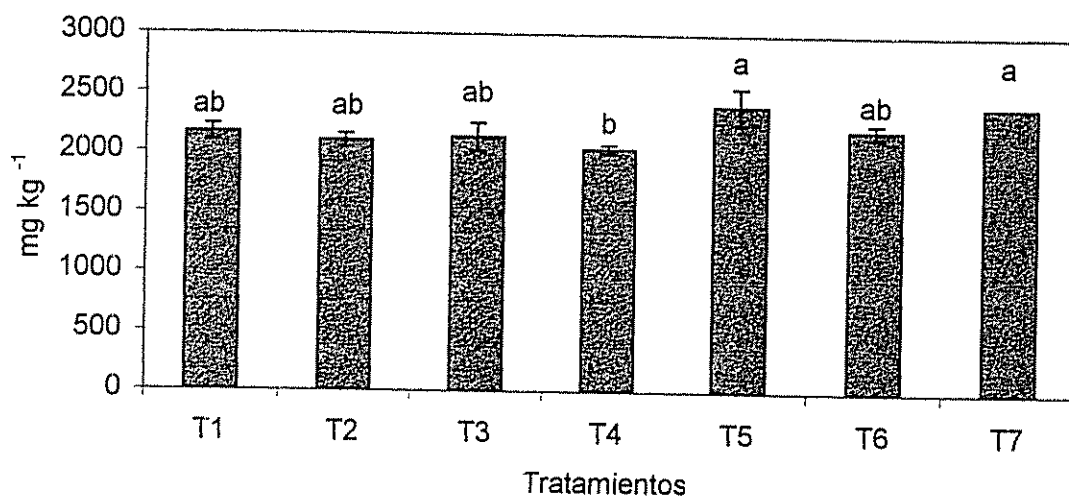


Fig. 10. Contenido de fósforo (P) en muestras foliares de *Arachis pinto* a 6 meses de siembra. Tratamientos con letras iguales no difieren estadísticamente ($P>0.05$). Barras corresponden a error estándar

4.4.2 Micronutrientes

No se encontraron diferencias estadísticas en Cu, Mn y Fe, pero sí en el caso del Zn ($P < 0.01$) (Anexo 6). Los resultados de estos elementos indican que en el caso del Cu los tratamientos difirieron muy poco entre sí (fig. 11). Los valores encontrados oscilaron entre 16 y 19 mg kg^{-1} para los tratamientos 1 y 5, respectivamente.

En el Mn, el tratamiento 1 reportó el mayor valor (1091 mg kg^{-1}), mientras que el T3 la menor cantidad (696 mg kg^{-1}) (fig. 12).

Los resultados encontrados en los análisis del Fe (fig. 12), fueron del orden de 1916 mg kg^{-1} y 4201 mg kg^{-1} en los tratamientos 7 y 4, respectivamente. Aunque se observa una diferencia considerable entre estos tratamientos, estadísticamente fueron iguales ($P > 0.05$).

El comportamiento de los tratamientos en la absorción de Zn (fig. 11) mostró mejores resultados en el tratamiento 5 (53.58 mg/kg), sin embargo la prueba de Tukey determinó que, estadísticamente ($P > 0.05$) fue similar a los tratamientos 1, 2, 3 y 7, pero superior ($p < 0.05$) a los tratamientos 4 y 6 que absorbieron menor cantidad de este elemento (42 mg/kg).

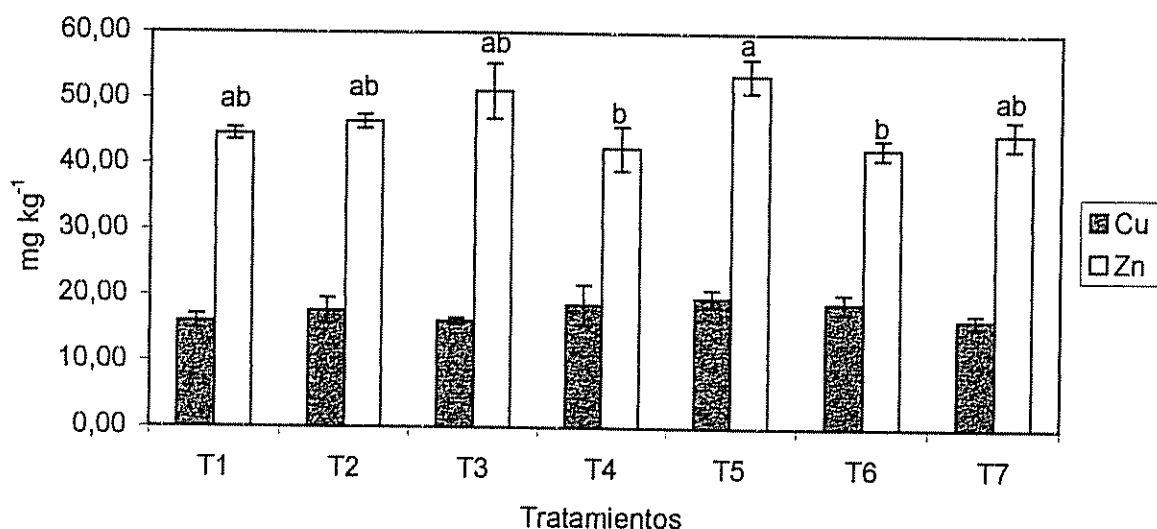


Fig. 11. Contenido de Cu y Zn en muestras foliares de *Arachis pintoi* a 6 meses de siembra. Barras corresponden a error estándar de los datos. Tratamientos con letras iguales no difieren estadísticamente ($P > 0.05$)

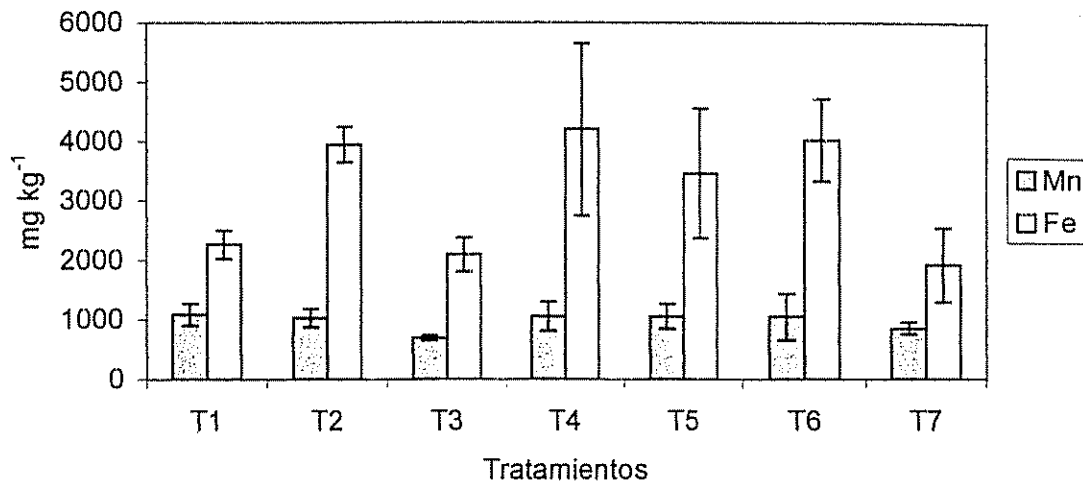


Fig. 12. Contenido de Mn y Fe en muestras foliares de *Arachis pintoi* a 6 meses de siembra. Barras corresponden a error estándar de los datos.

Proteína cruda (PC)

El análisis de varianza de la concentración de proteína cruda no mostró diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos (Anexo 6). Los valores obtenidos fueron muy parecidos (fig. 13), se ubicaron en el rango de 17 mil y 21 mil mg kg^{-1} , para los tratamientos 2 y 7 respectivamente.

El contenido de PC es un buen indicador del potencial nutritivo de una leguminosa para la alimentación de ganado, ya sea en forma de pastoreo o de corte. Una de las ventajas de la mayoría de leguminosas es su alto contenido de PC comparado con gramíneas. En este estudio el tratamiento 7 (Accesión CIAT 18744) presentó el mayor contenido de esta.

Estudios realizados en Costa Rica y en Colombia muestran que *A. pintoi* tuvo una alta aceptabilidad animal (Lascano, *et al.*, 1988; Ibrahim, 1994) y aportó una alta cantidad de PC en la dieta de los animales ($> 40\%$) (Ibrahim, 1994).

Estudios muestran que la ganancia de peso vivo de animales en engorde pastoreando mezcla de *B. brizantha* y *A. pintoii* fue 937 kg/ha/año, superando al pastoreo en monocultivo en mas de 35% (Hernández *et al.*, 1995). Estos datos muestran la importancia que tiene esta especie en su uso en sistemas silvopastoriles para la producción animal sostenible.

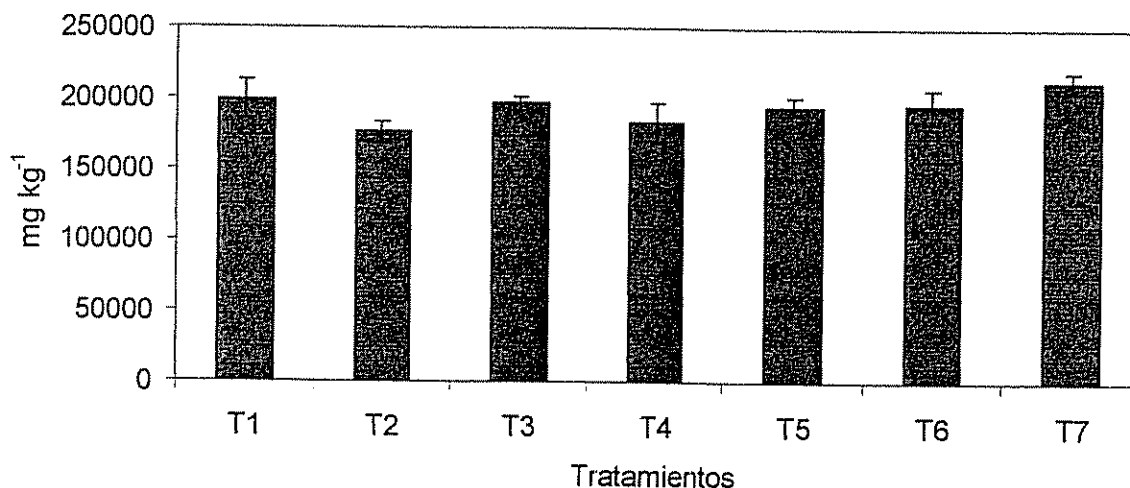


Fig. 13. Contenido de proteína total (PC) en muestras foliares de *A. pintoii* a 6 meses de estudio.

4.5 *Materia seca (MS)*

No se encontraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre tratamientos (Anexo 7), pero sí en distancias y mediciones en tiempo ($P < 0.05$). La producción de MS a 3 m y 4.5 m de distancia del árbol fue estadísticamente similar, pero superior ($P < 0.05$) a la obtenida a 1.5 m de distancia de estos (cuadro 8 y fig. 14). Todas las accesiones de *A. pintoii* mostraron una tendencia a incrementar la producción de MS a medida que el muestreo se alejaba de los árboles; esta diferencia fue mayor entre las distancias de 1.5 m a 3 m, sin embargo, la tendencia se suavizó un poco en las mediciones de 3 m a 4.5 m. Cabe mencionar que el tratamiento 7 presentó mayores incrementos en MS por distancia de muestreo.

La radiación fotosintéticamente activa (RAFA) incidente en las distancias de muestreo por parcela fue diferente. A medida que las distancias de muestreo se alejaban de los árboles esta aumentaba. Andrade, (1999) en estas mismas parcelas y distancias de medición definió tres zonas con diferencias en transmisión de radiación incidente: sombra alta (cerca de los árboles, 1.5 m), sombra intermedia (distancia media, 3.0 m) y pleno sol (lejos de los árboles, 4.5 m), con transmisiones de RAFA a nivel de la superficie de *A. pintoi* de 20, 63 y 98%, respectivamente.

Las accesiones de *A. pintoi* tuvieron un comportamiento diferente ($P < 0.05$) en cuanto su producción MS en relación con las distancias del árbol. Los tratamientos 2 y 7 (CIAT 22157 y CIAT 18744) tuvieron una respuesta lineal, a medida que las distancias del árbol incremento (fig. 14), indicando que esta s especies tienen mayor demanda de luz comparada con otras. El tratamiento 6 (CIAT 17434) mostró una respuesta cuadrática a las distancias de los árboles sobre la producción de MS. Los tratamientos T3, T4 y T7 (CIAT 22159, CIAT22148 Y CIAT 18744) tuvieron mayor producción de MS en las tres distancias del árbol evaluadas. Lo anterior nos muestra la plasticidad que poseen estas accesiones para adaptarse a diferentes condiciones de sombra.

Por otra parte, los tratamientos 1 y 6 (CIAT 22155 y CIAT17434) producen mejor a niveles de sombra intermedia (63%)

Las leguminosas se caracterizan por ser plantas C3 que generalmente tiene un requerimiento de luz menor que plantas C4 (Wild, *et al.*, 1993). Estudios realizados con pasto *Panicum maximum* (green panic) mostraron que esta especie incrementó su producción bajo 25% de sombra comparada con pleno sol (Wilson y Wong, 1982).

Estos datos tienen mucha aplicación debido a que hoy en día se están promoviendo los sistemas silvopastoriles para la producción sostenible y las plantas forrajeras tiene que ser tolerantes a sombra para sostener la producción.

Las diferencias en producción de MS referidas a las distancias de muestreo, pudieron también ser influenciadas por otros factores aparte de la incidencia de RAFA. Fisher y

Cruz, (1995) mencionan que *A. pintoi* tolera la sombra y crece mejor en condiciones sombreadas que a pleno sol. Otro factor que posiblemente afectó la productividad de *A. pintoi* fue la competencia por raíces. *A. mangium* mantiene una alta concentración de raíces en un radio de 0.5 a 1.0 m y resulta en mayor competencia con las gramíneas (Ibrahim *et al.*, en preparación)

Experimentos en macetas con *A. pintoi* a diferentes intensidades de luz artificial (70%, 50% y 30%) en comparación con un testigo sin sombra (pleno sol), demostraron que las plantas expuestas a pleno sol presentaron menor área foliar. Las plantas bajo sombra tenían también mayor biomasa aérea, sin embargo, la biomasa subterránea no difirió significativamente entre los tratamientos (CIAT, 1991).

Con relación a las fechas de muestreo (4, 5 y 6 meses después de siembra), la producción de MS se comportó diferente estadísticamente ($P < 0.05$).

Existió una tendencia significativa ($P < 0.05$) a incrementar la producción de MS en el tiempo. En algunos tratamientos (T7) esta fue más fuerte (fig. 15).

Cuadro 8. Producción de materia seca (kg ha^{-1}) a tres distancias en accesiones de *A. pintoi* a 6 meses de siembra.

Distancias	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Prome
1,5 m	1108	1155	1475	1469	853	859	1315	1177 ^a
3,0 m	1742	1522	1908	2038	1285	1896	2186	1797 ^b
4,5 m	1517	1860	1997	1902	1386	1641	2530	1834 ^c
Promedio	1455	1513	1793	1803	1175	1465	2010	

Distancias con misma letra, no difieren estadísticamente ($P > 0.05$)

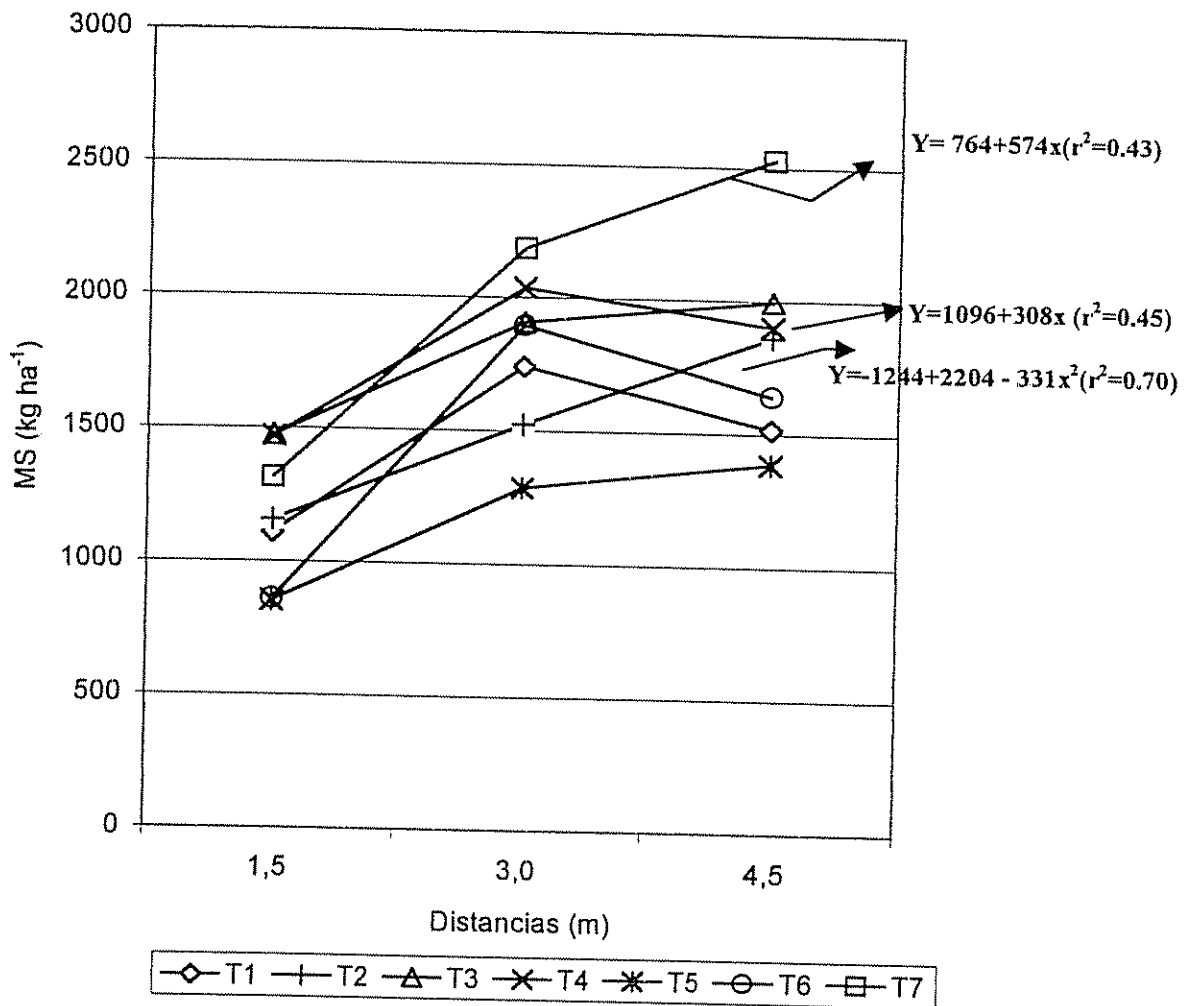


Fig. 14. Producción de materia (MS) de *A. pintoi* a tres distancias de muestreo.

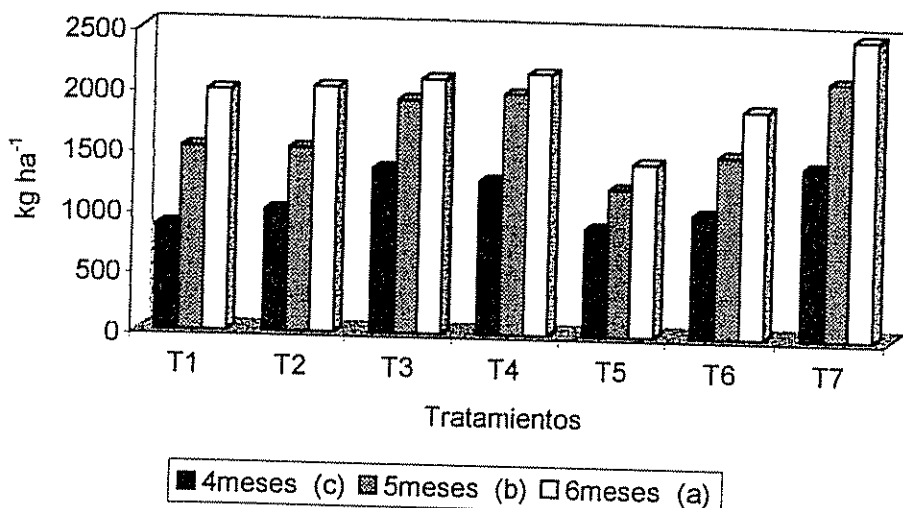


Fig. 15. Producción de materia seca (MS) por tratamiento en accesiones de *A. pintoi* a tres fechas de muestreo. Fechas de muestreo con misma letra, no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

4.6 Longitud específica de raíz (LER)

Debido a que los datos obtenidos en esta variable no se distribuían normalmente, se efectuaron transformaciones numéricas a logaritmo natural, lográndose de esta forma reducir dicha variación. Los resultados que se presentan corresponden a los datos originales con sus respectivos errores estándares. Sin embargo, los análisis estadísticos corresponden a los datos transformados.

Se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre tratamiento y en la interacción tratamiento*distancia (Anexo 8). El tratamiento 6 obtuvo el mejor resultado de LER (74.13 cm mg^{-1}) mientras que el tratamiento 7 presentó el valor más bajo (14.25 cm mg^{-1}) (cuadro 9 y fig. 16).

Cuadro 9. Longitud específica de raíz de *A. pintoii* por distancia y tratamiento a 6 meses de la siembra.

Distancias	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Prom.	Error est.
	cm mg ⁻¹								
1,5 m	22,8	9,6	107,9	18,4	18,8	131,6	8,1	45,3 ^a	13,2
3,0 m	16,8	21,9	11,4	23,1	109,6	35,5	6,9	32,2 ^a	10,1
4,5 m	7,5	20,7	12,2	12,2	13,7	55,3	27,8	21,4 ^a	5,2
Promedio	15,7	17,4	43,8	17,9	47,4	74,1	14,2		

Distancias con misma letra no difieren estadísticamente (P>0.05)

Las distancias de muestreo de las raíces de accesiones de *A. pintoii* con relación a los árboles *A. mangium* no influyeron significativamente (P>0.05) en el comportamiento de la LER. Posiblemente porque el sistema radical de estos últimos por tener tres años de edad presentaban un desarrollo radicular más profundo.

Los resultados de LER muestran el mecanismo de las accesiones empleado para la obtención de nutrientes. Es decir, el tratamiento 6 (CIAT17434 o cv. Maní Mejorador) invirtió más esfuerzos en producir raíces que el tratamiento 7. Se podría decir que este último fue más eficiente en la absorción de estos por unidad de LER.

Por otro lado, es posible que las accesiones presenten diferentes contenidos de nutrientes en la raíz comparado con la parte aérea, eso pondría en desventaja, en cuanto a la capacidad de reciclar nutrientes, a las accesiones que produjeron menor LER ya que los nutrientes de la parte aérea podrían ser cosechados. No obstante, en esta investigación no se estudió tal relación.

También, se realizó análisis de regresión entre la colonización de raíces por MVA y la absorción de P, la cual resultó no significativa.

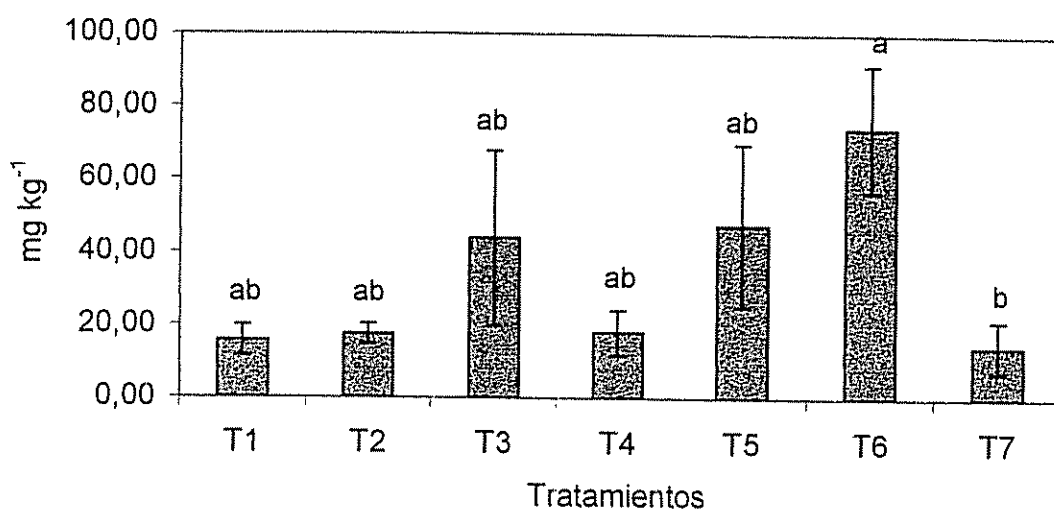


Fig. 16. Longitud específica de raíz (LER) de *A. pintoi* a 6 meses de la siembra. Tratamientos con misma letra no difieren estadísticamente ($P > 0.05$). Barras corresponden a error estándar

4.7 Discusión de principales resultados.

Se realizó un balance del contenido de las tres fracciones de P en el suelo determinadas durante 6 meses de estudio (cuadro 10). Encontrándose diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos en la fracción de P extraídos por carbonato de sodio ($P_i/NaHCO_3$) (Anexo 13). Dentro de esta fracción, los tratamientos 2 y 7 disminuyeron el contenido de P_i a los seis meses de estudio; mientras que los demás tratamientos tendieron a incrementar sus cantidades.

Considerando que el tratamiento 7 (CIAT 18744) presentó mayor cantidad de P foliar (cuadro 7),

Cuadro 10. Balance de tres fracciones de P en el suelo determinadas durante 6 meses de estudio.

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	mg kg ⁻¹							
Pi/membrana	-0,01	0,00	-0,32	-0,51	-0,26	-0,25	-0,06	-0,38
Pi/NaHCO ₃	5,28 ^a	2,31 ^{ab}	-3,02 ^b	2,18 ^{ab}	3,20 ^{ab}	1,77 ^{a^b}	3,46 ^{ab}	-0,14 ^{ab}
Po/NaHCO ₃	-4,17	-6,21	-6,98	-1,83	-6,84	-2,64	-2,73	-10,41

Tratamientos con similar letra no difieren estadísticamente ($P > 0.05$)

Se relacionó la producción de materia seca y la concentración de los nutrientes en muestras foliares que resultaron estadísticamente significativos, para obtener las cantidades de estos elementos absorbidos por hectárea (cuadro 11 y fig. 17).

Cuadro 11. Cantidad de Mg, P y Zn extraídos por materia seca de *A. pintoi* producida a seis meses de siembra.

Nutrientes	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Mg	15,42	11,18	15,94	15,31	11,71	14,01	22,07
P kg ha ⁻¹	4,30	4,24	4,48	4,39	3,43	4,15	5,97
Zn	0,09	0,09	0,11	0,09	0,08	0,08	0,11

Aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) en los valores obtenidos (Anexo 14), el tratamiento 7 (accesión CIAT 18744) fue consistente en la absorción de Mg, P y Zn. Las cantidades de estos elementos extraídos fueron del orden de 17.83, 4.83 y 0.09 kg/ha, respectivamente. Dichos valores fueron superiores a los obtenidos por los demás tratamientos, con excepción del tratamiento 3 (CIAT 22159) para Zn que extrajo la misma cantidad.

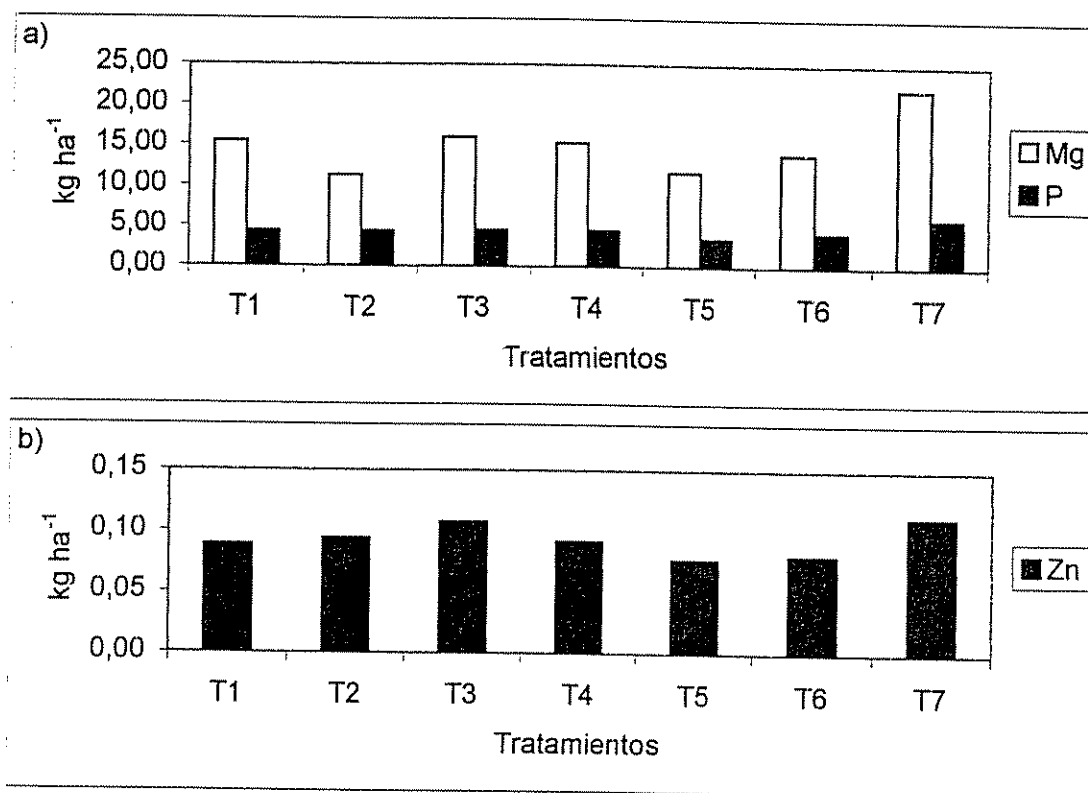


Fig. 17. (a) Absorción de Mg y P y (b) Absorción Zn por accesiones de *A. pintoi* durante 6 meses de estudio

Se calculo la eficiencia de la absorción de P (cuadro 12), encontrándose los valores mas altos en los tratamientos 4 y 7 (1,06 y 1,04), lo cual indica que por cada mg de P absorbido los tratamientos 4 y 7 (CIAT22148 y CIAT18744) produjeron 1,06 y 1,04 kg de MS respectivamente.

Cuadro 12. Eficiencia de la absorción de P en muestras foliares de *A. pintoi* a 6 meses de siembra.

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Kg de MS (mg de P)						
0,92	0,96	0,98	1,06	0,60	0,86	1,04

Se realizaron regresiones entre longitud específica de raíz y las proporciones de estos elementos (Mg, P y Zn) cuantificados en las muestras foliares de *A. pintoi*,

encontrándose que no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$). También, los coeficientes de determinación (R^2) fueron muy pequeños (Anexos 9,10 y 11). Por lo tanto, la longitud específica de raíz no influyó significativamente en la absorción de Mg, P y Zn.

Lo anterior hace pensar, que existen otros factores de mayor peso que determinan la absorción de estos nutrientes. Lajtha y Harrison, 1995; citados por Sánchez, *et al.*, (1997) mencionan que muchos árboles, arbustos e importantes especies de cultivos tienen la habilidad de que exudados de ácidos orgánicos de sus raíces o tienen asociación micorrizicas que ayudan a disolver fosfatos orgánicos del suelo no disponible a los cultivos.

Estudios de identificación de accesiones de *A. pintoi* con adaptación a bajos suministro de P en el campo, mostraron un mejor comportamiento de la accesión CIAT 18747 para adquirir P económicamente de las fuentes de P disponibles, lo cual pudo ser relacionado a su habilidad para asociarse mejor con VAM combinado con exudados de ácidos orgánicos, además de la mejor arquitectura raíz (Castañeda, *et al.*, 1999).

Accesiones de *A. pintoi* han mostrado baja susceptibilidad a factores bióticos, sin embargo, los factores abióticos, los cuales incluyen edáficos y climáticos, restringen la productividad durante y después del establecimiento (Castañeda, *et al.*, 1999).

El análisis de regresión entre la colonización de raíces por MVA y el contenido de P, tampoco fue significativo (Anexo 12). Lo anterior nos indica que tampoco la colonización por MVA explicó las diferencias significativas ($P < 0.05$) encontradas en el contenido de P en las muestras foliares.

Estos resultados son contrarios a los encontrados en algunos estudios, sin embargo, las condiciones edafoclimáticas donde se realizan los experimentos juegan un papel determinante en los resultados que se puedan obtener con este tipo de estudios.

Estudios realizados en invernadero, donde se evaluó la dependencia de micorrizas en la absorción de P de 10 accesiones de *A. pintoi*, aplicando tres fuentes de P (sin aplicación de P, roca fosfórica y superfosfato triple) y dos niveles de MVA (con y sin inoculación de *Glomus fasciculatum*). Los resultados mostraron que la colonización de MVA incrementó la habilidad de adquirir fósforo en dos veces en algunas de las accesiones incluyendo CIAT 18741, 18748, 18751, 22159 y el cultivar comercial 17434. Además, las accesiones (CIAT 18744, 18745 y 18747) respondieron mejor a la aplicación de roca fosfórica. También se determinó, que entre las 10 accesiones estudiadas, CIAT 22172 y 22160 fueron menos dependientes de la asociación con MVA (Castañeda, *et al.*, 1999).

Es posible que la especie de MVA del género *Glomus* encontrado en las muestras de suelo no sea la más eficiente en la obtención de fósforo por las raíces.

5.0 Conclusiones

- En este estudio no se encontró diferencias significativas entre accesiones de *A. pintoí* en cuanto los contenidos P total y las fracciones de P (P_i /membrana, $P_i/NaHCO_3$, $P_o/NaHCO_3$) determinada en el suelo; lo cual pudo ser relacionado a que la duración del estudio fue muy corto (6 meses) para que se manifestaran las diferencias en estas variables.
- Se encontró diferencias significativas entre accesiones de *A. pintoí* con respecto a la absorción de algunos macro y micro elementos, siendo las accesiones de *A. pintoí* CIAT 18744 (cv. porvenir) y CIAT 22150 las que obtuvieron los mejores resultados en la absorción de Mg, P Y Zn.
- La producción de materia seca no difirió significativamente entre accesiones de *A. pintoí*; sin embargo, hubo un efecto de los árboles (distancias de muestreo) y del tiempo (4, 5 y 6 meses) en la producción de ésta. Las accesiones CIAT22157 y CIAT18744 presentaron una tendencia lineal incrementando la producción de MS a mayor distancia del árbol; mientras que la accesión CIAT17434 mostró una tendencia cuadrática. Estos datos indican que hay muchas diferencias entre las accesiones de *A. pintoí* en cuanto a tolerancia a sombra.
- La longitud específica de raíz, no explicó la capacidad de las accesiones de *A. pintoí* en la absorción de P, aunque se manifestó una tendencia entre la colonización de raíces por MVA y la absorción de Mg, P y Zn.
- Los resultados muestran diferencias significativas en longitud específica de raíces entre accesiones de *A. pintoí*, observando que CIAT 17434, CIAT 22150 y CIAT 22159, tuvieron mayor extensión de raíces, lo cual tiene mucha importancia en la selección de accesiones compatibles para integrar en Sistemas agroforestales.

- Las accesiones CIAT 18744 y 22150 mostraron mayor potencial para acumular P en asocio con *A. mangium*, indicando que algunas accesiones de *A. pintoii* utilizan mecanismos diferentes para captar P.

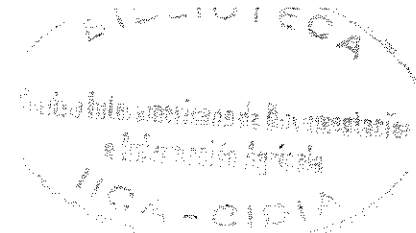
6.0 Recomendaciones

- Evaluar a nivel de laboratorio y de campo los mecanismos que utilizan las diferentes accesiones de *A. pintoii* para captar y utilizar P.
- Continuar con este tipo de investigación para determinar el efecto o sinergismo de la colonización de raíces por MVA y la longitud específica de raíz con otros factores abióticos en la absorción y reciclaje de fósforo.
- Evaluar durante periodos de tiempo más largos la dinámica del fósforo foliar y en el suelo entre las accesiones de *A. pintoii*.
- Investigar la descomposición en el suelo de muestras foliares y de raíces de las accesiones de *A. pintoii* para cuantificar la tasa de retorno de nutrientes.
- Estudiar la competencia entre las accesiones de *A. pintoii* y el cultivo en asocio en sistemas agroforestales para seleccionar accesiones compatibles para estos sistemas.

7.0 Bibliografía

- Allen, O.N.; Allen, E.K. 1981. The Leguminosae: A source book of characteristics, uses, and nodulation. University of Wisconsin Press, Madison, WI, E.U. 812 p.
- Andrade, H.J. 1998. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70 p.
- Argel, P.J.; Pizarro, E.A. 1992. Germplasm case study: *Arachis pintoii*. In Pastures for the tropical lowlands; CIAT's contribution. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 57-73.
- Argel, P.J.; Maass, B. 1995. Evaluación y adaptación de leguminosas arbustivas en suelos ácidos infértiles de América tropical. In Evans, D.D.; Szott, L.T. eds. Nitrogen fixing trees for acid soils. Nitrogen fixing tree research reports (Special Issue). Winrock International and NFTA, Morrilton, Arkansas, USA. P. 215 – 218.
- Argel, P.J.; Villareal, C., M. 1998. Nuevo maní forrajero perenne (*Arachis pintoii* Krapovickas y Gregory). Cultivar Porvenir (CIAT 18744): Leguminosa herbácea para alimentación animal, el mejoramiento y conservación del suelo y el embellecimiento del paisaje. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Boletín Técnico. 32 p.
- Bowman, R. 1989. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. Soil Science Society America Journal. 53: 362-366.
- Bowman, R.; Cole, C. 1978a. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. Soil Science 125(1): 49-54.
- Bowman, R.; Cole, C. 1978b. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from Grassland Soil. Soil Science. 125(2): 95-101.
- Brundrett, M.; Bougher, N.; Dell, B.; Grove, T.; Malajczuck, N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR monograph. 32:184-186.
- Castañeda, R.; Gracia, N.; Rao, I.M. 1999. Studies on genotypic variation in *Arachis pintoii* for tolerance to low phosphorus supply. In Tropical grasses and legumes: Optimizing genetic diversity for multipurpose use (Project IP5). 1999. Annual Report 1999. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 102 – 110.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1992. *Acacia mangium* Willd. Especies de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto

- Diseminación del Cultivo de Árboles de Uso Múltiple. Serie técnica. Informe técnico No. 196. Turrialba, Costa Rica. 56 p.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1994. Manejo y crecimiento de linderos. Resultados de ensayos del proyecto agroforestal CATIE/GTZ, de tres especies maderables en la zona de Talamanca, Costa Rica. Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Serie técnica. Informe técnico No 224. Turrialba, Costa Rica. 94 p.
- Chang, S.; Jackson, M. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84(2): 134-144.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1991. Annual report, Tropical Pastures Program 1987-1991. Cali, Colombia. V. 2. p 1-95.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1992. Pastures for the tropical lowlands. CIAT contribution, publication No. 211. Cali, Colombia. 238 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1993a. Programa de forrajes tropicales. Informe bianual 1992-1993. Documento de trabajo No. 136. Cali, Colombia. p. 1-8.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1993b. Biennial report 1992-1993: Tropical forages. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Working Document, No. 166, 100 p.
- Cockrane, T.T. 1982. Caracterización agroecológica para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos de América Tropical. *In* Toledo, J.M. eds. Manual para la evaluación agronómica. CIAT, Cali, Colombia. p. 23-24.
- Cruz, De la R.E.; Yantasath. 1993. Symbiotic associations *In: Acacia mangium* growing and utilization. Eds. K. Awang y D. Taylor. Bangkok, Tailandia. p. 101-111.
- Cruz, R. de la; Suárez, S; Ferguson, J.E. 1995. Contribución de *Arachis pintoi* como Cobertura del Suelo en Algunos Sistemas de Explotación Agrícola de América Tropical. *In* Kerridge, P.C. eds. Biología y Agronomía de Especies Forrajeras de *Arachis pintoi*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. p. 110-116.
- Cuervo, J. 1997. Efecto de la aplicación de hongos VA y rizobacterias en el crecimiento de plántulas de dos especies forestales. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 98 p.
- Esquivel, J. 1997. Efecto del componente arbóreo de un sistema silvopastoril sobre la distribución de espacial de nutrientes, biomasa microbial y densidad de lombrices en un suelo bajo pastoreo, en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, 64 p.



- Estados Unidos, 1983. National Research Council. Mangium and other fast-growing Acacias for the Humid Tropics. Washington, D.C., EE.UU., Academy Press. 62 p.
- Fassbender, H.W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 3ª edición. IICA. San José, Costa Rica. 398 p.
- Fassbender, H.K. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Segunda edición. Serie de materiales de enseñanza No. 29. Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. p. 395-429.
- Fassbender, H.W.; Bornemiza, E. 1987. Química de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.
- Fassbender, H.W.; Bornemiza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. p 255-312.
- Fitter, A. 1996. Characteristics and functions of root systems. In Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, A. eds. Plant Roots: The Hidden Half. Second Edition, Revised and Expanded. Printed in the United States of America. p. 1-20.
- Fisher, M.J.; Cruz, P. 1995. Algunos aspectos de la ecofisiología de *Arachis pintoi*. In Kerridge, P.C. eds. Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Calí, Colombia. Documento de trabajo No. 245. p. 56 – 75.
- Grandstedt, R; Rodríguez, A.M. 1996. Establecimiento de *Arachis pintoi* como cultivo de cobertura en plantaciones de banano. In Arjel, P.J.; Ramírez, P. eds. Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Calí, Colombia. Documento de trabajo No. 159. p. 159 – 187.
- Grof, B. 1985. Forage attributes of the perennial groundnut *Arachis pintoi* in a tropical savanna environment in Colombia. In: Proc. XV Int. Grassl. Congr. Kyoto, Japon. p. 168-170.
- Hands, M. 1987. The ecology of shifting cultivation. Unpublished M.Sc. Thesis, University of Cambridge.
- Hedley, M.; Stewart, J.; Chauhan, B. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 970-976.
- Harley, J.L.; Smith, S.E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, Londres. 483 p.

- Hernández, M., Argel, P.J.; Ibrahim, M.A.; 't Man netje, L. 1995. Pasture production, diet selection and liveweight gains of cattle grazing *Brachiaria brizantha* with or without *Arachis pinto* at two stoking rates in the Atlantic Zone of Costa Rica. *Tropical Grasslands* 29, 134 – 141.
- Henríquez, C.; Briceño, J.; Molina, E. 1992. Fraccionamiento de fósforo orgánico en cuatro ordenes de suelo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense. Volumen* 16(2): 195-201.
- Ibrahim, M.A. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grass legume mixtures in the Humid Tropics of Costa Rica. Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 128 p.
- Ibrahim, M.; Mannetje, L.T. 1998. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures in the humid tropics of Costa Rica. *Tropical grasslands* 32(2):1-10.
- Ibrahim, M.; Kanninen, M.; Kass, D.; Bolivar, D.; Chesney P.; Andrade, H. Productivity of a grass monoculture and silvopastoral system grown on acid soils of Pnama. 1. Soil quality, biomass production and tree growth. *Agroforestry Systems* (in preparation).
- Joenje, M. 1996. A cost-benefit analysis for the establishment of mixed pastures with and without two species of legume trees, in the humid tropical of Costa Rica. Research Program on Sustainability in Agriculture (REPOSA). Phase 2. Report No. 100. CATIE, Agricultural University, MAG, Costa Rica. 51 p.
- Kelley, J.; Lmabiert, M.; Turner, J. 1983. Available phosphorus forms in forest soils and their possible ecological significance. *Comm Soil Sci. Plant An.* 14: 1217-1234.
- Kerridge, P. C. 1991. Adaptation of shrub legumes to acid soils. *In: Wright, R.J.; Baligar, V.C. y Murrmann, R.P. (eds). Plant-soil interactions at low pH. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos. p. 977-987.*
- Kerridge, P.C.; Pizarro, E.A. 1995. Acervos genéticos mejorados de especies forrajeras de *Arachis*. *In* CIAT. eds. Informe bianual 1994-1995. Programa de forrajes tropicales. Documento de trabajo No. 153. Cali, Colombia. p (4-1) -(4-15).
- Koske, R.E.; Gemma, J.N. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA micorrizas. *Mycol. Res.* 92(4):486-505
- Lascano, C.; Thomas, D. 1988. Forage quality and animal selection of *Arachis pinto* in association with tropical grasses in the eastearn plains of Colombia. *Grass and Forage Science*, 43:433-439.

- Maass, B.L. 1995. Recursos genéticos de plantas forrajeras. *In* CIAT. eds. Informe bianual 1994-1995. Programa de forrajes tropicales. Documento de trabajo No. 153, 1995. Cali, Colombia. p. (2-1)-(2-10).
- McDowell, J.L.; Velasquez-Pereira, J.; Valle, G. 1997. Minerales rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Departamento de zootecnia, Centro de Agricultura Tropical, Universidad de Florida, Gainesville. 85 p.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991. Manual descriptivo de la leyenda del mapa de Asociaciones de Subgrupos de Costa Rica. Consultora Ancón y Asociados S.A. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA).
- Nair, P.K.R. 1997. Agroforestería. Primera edición en español. Editor, Krishnamurthy, L. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. p. 340-346.
- Olsen, S.; Sommers, L. 1982. Phosphorus. *Methods of soil analysis*. Page, A. *et al.*, eds. Chemical and microbiological properties, part 2. 2nd edition. ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, p. 403-430.
- Rao, I.M. 1995. Atributos de adaptación de plantas forrajeras a suelos infértiles. *In* CIAT. eds. Informe bianual 1994-1995. Programa de forrajes tropicales. Documento de trabajo No. 153, 1995. Cali, Colombia. p. (7-1)-(7-17).
- Rao, I.M.; Kerridge, P.C. 1995. Nutrición mineral de *Arachis* forrajero. *In* Kerridge, P.C. eds. *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. CIAT. Cali, Colombia. p. 76-89.
- Saif, S.R. 1987. Growth responses of tropical plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae. 1. Growth, mineral uptake and mycorrhizal dependency. *Plant Soil* 97:25-35.
- Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 1994. Fisiología vegetal. Cuarta edición. Traducida al Español por Velásquez, V.G. Editor. Philp, N.G. Grupo editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. México, D.F. p. 149-151.
- Sánchez, M. 1989. Interacciones entre micorrizas y patógenos de plantas. *In* Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Ewald Sieverding, Marina Sánchez, Nelson Bravo (Eds). 2^a edición, Palmira, Colombia. p. 62-81.
- Sánchez, P.A.; Salinas, J.G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical América. *Advances in Agronomy* 34: 280-398.
- Sánchez, P.; Palm, C.; Davey, C.; Szott, L.; Russel, C. 1985. Trees as soil improvers in the humid tropics?. *In* Canel, M.G.; Jackson, J.E. eds. *Attributes of trees as crop plants*, Institute of Terrestrial Ecology, Huntingdon, Great Britain, p. 327 – 358.

- Sánchez, P.; Shepherd, K.; Soule, M.; Place, F.; Buresh, P.; Izac, A.; Mokwunye, U.; Kwesiga, F.; Ndiritu, C.; Woomer, P. 1997. Soil fertility replenishment in Africa: an investment in natural resource capital. *In* Buresh, R.; Sanchez, P.; Calhoun, F. eds. Replenishing soil fertility in Africa. SSSA Special Publication Number 51. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA, p. 1 – 47.
- Sieverding, E. 1989. "Ecology of UAM fungus in tropical agrosystems". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 29:369-390.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agroecosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Alemania. 131 p.
- Szott, L.T.; Kass, D. 1993. Fertilizers in agroforestry systems. *Agroforestry systems* 23: 157-176.
- Tiessen, H. 1989. Methods for characterizing soil phosphorus. Anderson, J; Ingran, J. eds. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. C.A.B., Wallingford, United Kingdom. p. 113-126.
- Valls, J.F.M. 1992. Orígen do germoplasma de *Arachis pintoi* disponível do Brasil. *In* Pizarro, E.A. eds. Red internacional de evaluación de pastos tropicales RIEPT. 1a Reunión Sabanas, 23 - 26 de noviembre de 1992, Brasília, Brasil. Documento de trabajo No. 117. EMBRAPA, CPA, CIAT. p. 81 - 96.
- Velasco, A.; Ibrahim, M.; Kass, D.; Jiménez, F.; Rivas, G. 1999. Contribución de *Acacia mangium* en el aporte de fósforo en un sistema silvopastoril con *Brachiaria humidicola* bajo suelos ácidos. *In* CATIE eds. Actas de la IV semana científica. "Logros de la investigación para el nuevo milenio". Celebrada del 6 al 9 de octubre de 1999. Programa de investigación. p. 268-271.
- Villareal, M.; Zúñiga, R. 1996. Frecuencia de corte y productividad de accesiones de *Arachis pintoi*. *In* Argel, P.; Ramirez, P.A. eds. Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centro América y el Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Cali, Colombia. p. 45-49.
- Villareal, M.; Rodríguez, L.; Sánchez, J.M.; Soto, H. 1996. Evaluación bajo pastoreo de asociaciones gramínea-*Arachis pintoi* en San Carlos, Costa Rica. *In* Argel, P.; Ramirez, P.A. eds. Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centro América y el Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Cali, Colombia. p. 3-16.
- Wild, D.W.M.; Wilson, J.R.; Stür, W.W.; Shelton, H.M. 1993. Shading increases yield of nitrogen-limited tropical grasses. *In* Proceedings of the XVII International Grassland Congress. Rockhampton, Australia. p. 2060-2061.

- Williams, J.; Walker, J. 1969. Fractionation of phosphate in a maturity sequence of New Zealand basaltic soil profiles. *Soil Sci.* 107: 22-30.
- Wilson, J.R.; Wong, C.C. 1982. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of green panic and Siratro pastures. *Australian Journal of Agricultural Research.* 33:937-949.
- Woomer, P.; Boohloul, B.B. 1989. Rhizobial ecology in tropical pasture systems. *In*: Martens, G.C.; Matches, A.G.; Barnes, R.F.; Brougham, R.W.; Clements, R.J.; y Sheath, G.w. (eds). Persistence of forage legumes. Proceedings of a trilateral workshop, Honolulu, Hawaii. American Society of Agronomy, Madison, WI. E.U. p. 233-245.
- Zelada, E. 1996. Tolerancia a sombra de especies forrajeras herbáceas en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 88 p.

ANEXOS.

Anexo 1. Análisis de varianza de fósforo total (P total) en muestras de suelo a 6 meses de estudio.

Fuentes de variación	de	Grados de libertad	CM	Pr > F
Bloque		2	53763.50	0.0951 ^{ns}
Tratamiento		7	5732.14	0.9432 ^{ns}
Error Experimental		14		

ns: no significativo (P>0.05)

Anexo 2. Análisis de varianza para fraccionamiento de fósforo (P) en muestras de suelo, al inicio y 6 meses de estudio.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Pr > F		
		Pi/membrana	Pi/NaHCO ₃	Pi/NaHCO ₃
Bloque	2	0.5606	0.0534	0.1459
Tratamiento	7	0.3670	0.5296	0.4369
Bloque*Tratamiento	14	0.0187 *	0.0006 **	0.4538
Medición	1	0.0011 **	0.0014 **	0.0053 **
Tratamiento*Medición	7	0.3038	0.0221 *	0.8873
Error Experimental	16			

* Significativo (P<0.05)

** Significativo (P<0.01)

Anexo 3. Análisis de varianza para número de esporas en muestras de suelo de *A. pintoi* a 6 meses de estudio.

Fuentes de variación	Grados de libertad	CM	Pr > F
Bloque	2	62362.50 ^{NS}	0.3743
Tratamiento	7	79040.47 ^{NS}	0.3040
Error Experimental	14	59106.55	

ns: no significativo (P>0.05)

Anexo 4. Análisis de varianza para colonización por MVA en muestras de raíz de *A. pintoi* a 6 meses de estudio.

Fuentes de variación	Grados de libertad	CM	Pr > F
Bloque	2	12.19	0.9376 ^{ns}
Tratamiento	6	77.71	0.8567 ^{ns}
Error Experimental	12	188.19	

ns: no significativo (P>0.05)

Anexo 5. Análisis de varianza de macronutrientes en muestras foliares de *A. pintoi* a 6 meses de siembra.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Pr > F				
		Ca	Mg	K	P	N
Bloque	2	0.6226	0.8866	0.8795	0.0782	0.4393
Tratamiento	6	0.5295	0.0005**	0.6156	0.0241*	0.3121
Error Experimental	12					

* : Significativo (P<0.05)

** : Significativo (P<0.01)

Anexo 6. Análisis de varianza de micronutrientes y proteína total (PT) en muestras foliares de *A. pintoi* a 6 meses de siembra.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Pr > F				
		Cu	Zn	Mn	Fe	PC
Bloque	2	0.2739	0.0152*	0.0441*	0.9157	0.4406
Tratamiento	6	0.5446	0.0087**	0.6806	0.2958	0.3136
Error Experimental	12					

* : Significativo (P<0.05)

** : Significativo (P<0.01)

Anexo 7. Análisis de varianza de la producción de materia seca (MS) de *A. pintoi* a tres distancias y tres fechas muestreo.

Fuentes de variación	Grados de libertad	CM	Pr> F
Bloque	2	3028621.6	0.3658
Tratamientos	6	2134751.5	0.6068
Bloque*Tratamiento	12	2766304.0	0.0001**
Distancias	2	8588503.9	0.0067**
Bloque*Distancia	4	382172.5	0.0054**
Tratamiento*Distancia	12	305943.61	0.0532
Bloque*Tratamiento*Distancia	24	142169.61	0.0995
Medición	2	12899024.86	0.0001**
Tratamiento*Medición	12	119018.7	0.2733
Distancia*Medición	4	533333.9	0.0005**
Tratamiento*Distancia*Medición	24	116433.7	0.2591
Error Experimental	84	96342.8	

* : Significativo (P<0.05)

** : Significativo (P<0.01)

Anexo 8. Análisis de varianza de la longitud específica de raíz de *A. pintoi* a tres distancias de muestreo y a 6 meses de siembra.

Fuentes de variación	Grados de libertad	CM	Pr> F
Bloque	2	2.45	0.1053
Tratamientos	6	3.19	0.0295 *
Bloque*Tratamiento	12	0.90	0.1489
Distancias	2	0.57	0.7050
Bloque*Distancia	4	1.50	0.0528
Tratamiento*Distancia	12	1.59	0.0129 *
Error Experimental	24	0.55	

* : Significativo (P<0.05)

Anexo 9. Análisis de varianza de regresión entre longitud específica de raíz y Magnesio (Mg) foliar.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Prob > F	C.V.
Regresión	1	0.9111	14.80
Error	19		

Anexo 10. Análisis de varianza de regresión entre longitud específica de raíz y la absorción de fósforo (P) en muestras foliares de *A. pintoi*.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Prob > F	C.V.
Regresión	1	0.2820	8.25
Error	19		

Anexo 11. Análisis de varianza de regresión entre longitud específica de raíz y la absorción de zinc (Zn) en muestras foliares de *A. pintoi*.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Prob > F	C.V.
Regresión	1	0.5252	11.94
Error	19		

Anexo 12. Análisis de varianza de regresión entre la colonización por MVA y la absorción de P.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Prob > F	C.V.
Regresión	1	0.1997	11.72
Error	19		

Anexo 13. Análisis de varianza del balance de tres fracciones de fósforo en muestras de suelo a 6 meses de estudio.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Pr>F		
		Pi/membrana	Pi/NaHCO ₃	Po/NaHCO ₃
Bloque	2	0.2444	0.8499	0.2042
Tratamiento	7	0.2758	0.0391*	0.8600
Error	14			

* : Significativo (P<0.05)

Anexo 14. Análisis de varianza de las cantidades de Mg, P y Zn extraídos por materia seca de *A. pintoi* producida a 6 meses de siembra

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Pr > F		
		Mg	P	Zn
Bloque	2	0.1700	0.0782	0.1357
Tratamiento	6	0.2841	0.4940	0.6620
Error	12			