

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**“EFECTO DE *ACACIA MANGIUM* WILL COMO BARBECHO MEJORADO,  
SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN CULTIVOS  
POSTERIORES EN UN ULTISOL ACIDO”**

**POR**

**FELICITA GONZALEZ DE LEON**



Turrialba, Costa Rica  
1997

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE  
INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
CATIE**

**PROGRAMA DE EDUCACION  
ESCUELA DE POSTGRADO**

**CATIE**

**"EFECTO DE *Acacia mangium* Will COMO BARBECHO MEJORADO,  
SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN CULTIVOS  
POSTERIORES EN UN ULTISOL ACIDO."**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado. Programa de  
Educación en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro  
Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar  
por el grado de

***Magister Scientiae***

Por

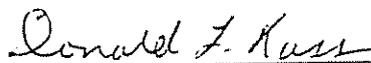
✓  
Felícita González De León

Turrialba, Costa Rica  
1997

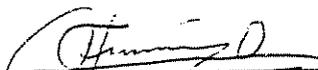
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

*MAGISTER SCIENTIAE*

FIRMANTES:



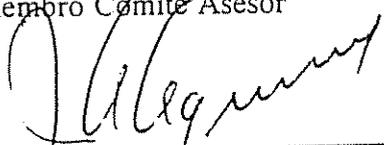
Donald L. Kass, Ph.D.  
Profesor Consejero



Francisco Jiménez, Ph.D.  
Miembro Comité Asesor



Muhammad Ibrahim, Ph.D.  
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre, Ph.D.  
Jefe, Area de Postgrado



Markku Kanninen, Ph.D.  
Director, Programa de Enseñanza



Felícita González De León  
Candidato

## DEDICATORIA

Con cariño a mi esposo Alexis e hijas Carol Paola y Mónica Paola por su paciencia, confianza y amor, quienes en los momentos más difíciles siempre me alentaron a seguir adelante.

A toda mi familia por sus preocupaciones y ayuda.

A la familia Samudio, por su apoyo.

A Maritza, por acompañar a mis hijas durante mi ausencia.

## AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso.

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y a la Universidad de Panamá, quienes hicieron posible mis estudios de Postgrado, mediante su financiamiento a través del Programa UNIPAN-BID III. De igual manera a la Facultad de Ciencias Agropecuarias por permitirme utilizar sus instalaciones en la fase experimental y de laboratorio.

A Donald L. Kass *Ph.D.* profesor consejero, por compartir sus conocimientos, sugerencias y ayuda en la conducción de este trabajo.

A Muhammad Ibrahim *Ph.D.* miembro del comité asesor, por haberme brindado su amistad y confianza, así como su constante apoyo, consejos y enseñanzas.

A Francisco Jiménez *Ph.D.* miembro del comité asesor, por su amistad y oportunas sugerencias y recomendaciones para la realización del presente trabajo.

A los Doctores Juan Jaén y Francisco Mora, por su confianza en mí, quienes hicieron posible la adjudicación del financiamiento.

Al personal del laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Panamá por su valiosa colaboración en la fase de análisis, igualmente al personal de laboratorio de suelos del CATIE, por sus recomendaciones.

Al Licenciado Johnny Pérez, por su ayuda en la elaboración del programa de análisis estadístico.

A mis amigos Centroamericanos, por su amistad y apoyo, especialmente a Marta Nuñez.

Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton.

## BIOGRAFÍA

La autora nació el 23 de mayo de 1956, en la ciudad de David, provincia de Chiriquí, República de Panamá.

En 1976, ingresó a la Facultad de Agronomía en la actualidad, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, donde obtuvo el título de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con especialización en Fitotecnia.

En 1981 inicia labores de asistencia en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Panamá. Posteriormente es nombrada profesora asistente en el Departamento de Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, cargo que ocupó hasta el momento de iniciar estudios de Postgrado.

En 1996, ingresa al Programa de Estudios de Postgrado del CATIE, en Turrialba, Costa Rica, donde obtiene el grado de *Magister Scientiae* en Sistemas Agroforestales en diciembre de 1997.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	viii
SUMMARY.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE ANEXOS.....	xv
1. INTRODUCCION .....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1 GENERAL .....	4
2.2 ESPECÍFICOS.....	4
3. HIPOTESIS .....	4
4. REVISION DE LITERATURA.....	5
4.1 CONTENIDO Y FORMAS DE FÓSFORO EN SUELOS TROPICALES.....	5
4.1.1 Fósforo total.....	7
4.1.2 Fósforo Orgánico .....	8
4.1.3 Fósforo Inorgánico.....	10
4.1.4 Fósforo Microbial.....	11
4.2 EFECTOS DEL ENCALADO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO.....	13
4.3 MINERALIZACIÓN E INMOVILIZACIÓN DEL FÓSFORO .....	13
4.4 SISTEMAS DE BARBECHO.....	18
4.5 BARBECHO MEJORADO.....	21
4.6 ACACIA MANGIUM EN SISTEMAS AGROFORESTALES.....	23
5. MATERIALES Y METODOS .....	26
5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	26
5.2 CLIMA.....	26
5.3 SUELOS.....	27

5.4 MATERIALES EXPERIMENTALES .....	28
5.4.1 <i>Acacia mangium</i> .....	28
5.4.2 <i>Frijol Caupí (Vigna sinensis)</i> .....	28
5.5 TRATAMIENTOS .....	30
5.5.1 <i>Ensayo en barbecho de A. mangium</i> .....	30
5.5.2 <i>Ensayo sin árbol establecido en 1996</i> .....	30
5.6 FERTILIDAD DE SUELO .....	31
5.7 FRACCIONAMIENTO DE FÓSFORO .....	31
5.8 ANÁLISIS FOLIAR .....	33
5.8.1 <i>A la Floración:</i> .....	33
5.8.2 <i>Madurez fisiológica</i> .....	33
5.9 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO .....	35
5.10 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	35
5.11 MODELO ESTADÍSTICO .....	35
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>37</b>
6.1 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DEL FRIJOL .....	37
6.2 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL CONTENIDO DE FÓSFORO Y OTROS NUTRIMENTOS EN EL SUELO .....	41
6.3 CONTENIDO DE FÓSFORO Y NUTRIMENTOS EN HOJAS DE FRIJOL .....	44
6.4 DISTRIBUCIÓN DEL FÓSFORO Y NUTRIMENTOS EN LA PLANTA A LA MADUREZ FISIOLÓGICA .....	49
6.5 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LAS FRACCIONES DE FÓSFORO EN EL SUELO .....	49
6.6 EFECTO DEL TIEMPO SOBRE LOS CONTENIDOS DE P DE LAS FRACCIONES .....	54
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>60</b>
<b>9. ANEXO .....</b>	<b>69</b>

**GONZALEZ, DE L. F.** 1997. Efecto de *Acacia mangium* Will como barbecho mejorado, sobre la disponibilidad de fósforo en cultivos posteriores en un Ultisol ácido. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 96 p.

**Palabras claves:** Barbecho mejorado, fósforo, *Acacia mangium*, sistemas agroforestales, disponibilidad de nutrientes, suelos ácidos, encalado, reciclaje de nutrientes, fraccionamiento de fósforo.

## RESUMEN

Los barbechos mejorados son una alternativa a la agricultura migratoria, durante estos períodos las propiedades biológicas, químicas y físicas de los suelos mejoran y los nutrimentos son acumulados en la biomasa vegetal. Una de las principales limitaciones que existen en el establecimiento y persistencia de sistemas agroforestales, es la disponibilidad de fósforo para el cultivo asociado (Ruiz 1991. En las regiones tropicales existen grandes extensiones de suelo que pueden ser considerados de baja fertilidad (oxisoles y ultisoles), con grandes limitaciones edáficas para la producción de cultivos.

La utilización de especies arbóreas para la rehabilitación de suelos marginales es una práctica común en el trópico. *Acacia mangium* y otras acacias han sido relativamente poco estudiadas en lo que se refiere a la producción de hojarasca, particularmente porque solo recientemente se han establecido plantaciones

El objetivo de la presente investigación fue determinar la efectividad de *A. mangium* como barbecho mejorado en suplir nutrimentos a cultivos posteriores y evaluar si existe interacción entre la aplicación de enmienda calcárea y la disponibilidad de fósforo en el sistema.

El estudio se desarrolló entre los meses de octubre de 1996 y julio de 1997, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá en el Corregimiento de Chiriquí, Chiriquí, Panamá, situado a 8° 23' 40" de latitud norte y 82° 20' 03" de longitud oeste, a una altitud de 25 msnm. La zona de vida corresponde al bosque húmedo tropical basal (Holdridge, 1987) y el suelo corresponde a un Ultisol, gran grupo Haplohumult sub grupo Plinthic Haplohumult.

Se establecieron dos ensayos, uno con árbol de *A. mangium* plantado en 1991 (barbecho mejorado), y otro sin árbol establecido en octubre de 1996. Los tratamientos evaluados en el barbecho mejorado son: 1) *A. mangium* sin cal (0 kg/ha- CaCO<sub>3</sub>); 2) *A. mangium* + cal 50% (2.435 kg/ha-

CaCO<sub>3</sub>); 3) *A. mangium* + cal 100% (4.870 kg/ha-CaCO<sub>3</sub>). Los tratamientos evaluados en el ensayo sin árbol fueron: 1) Testigo/solo caupí (*Vigna*); 2) Cal 50% (2.435 kg/ha-CaCO<sub>3</sub>) sin *A. mangium*; 3) Cal 50% (2.435 kg/ha-CaCO<sub>3</sub>) + P (50 kg/ha-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sin *A. mangium*; las parcelas fueron dispuestas en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

El cultivo utilizado fue frijol caupí (*Vigna*), en el que se evaluaron: contenidos de P, en la biomasa de hojas, tallos, raíces y vainas; número de plantas/parcelas; número de vainas/planta; número de granos/vainas y rendimiento total. Las fracciones de fósforo del suelo fueron estimadas por el método de Hedley et al, (1982), con modificaciones propuestas por Macêdo (1996), realizándose dos muestreos de suelo a 5 cm de profundidad, uno un mes después de la siembra y otro al final del ciclo del cultivo.

Al realizar el fraccionamiento de fósforo se encontró que el sistema de barbecho mejorado aporta mayor cantidad de P orgánico al fósforo total del suelo. Esta fracción orgánica es de gran importancia al actuar como depósito del P recirculado; ya que, el suelo presenta una alta fijación del nutrimento, llegando a valores de 72%. Los aportes en las fracciones inorgánicas fueron similares para ambos ensayos. Existen tendencias que indican cambios en el tiempo de algunas de las fracciones de fósforo en el suelo (Pi en NaHCO<sub>3</sub>, P orgánico y Pi residual).

La enmienda calcárea aumentó la disponibilidad de fósforo y disminuyó el contenido de manganeso del suelo en el barbecho. La fuente de suministro de fertilizante fosfatado en el ensayo sin árbol influyó en el rendimiento del caupí.

El contenido de nutrimentos foliares del frijol se vio influenciado por los tratamientos (fertilización, encalado y el barbecho), aunque las concentraciones foliares están bajo los niveles críticos, principalmente en los macronutrimentos (N, P, Mg y K), presentándose los valores más altos para nitrógeno y fósforo en el tratamiento sin árbol + cal + P, mientras que la producción de materia seca en la madurez fisiológica, no difirió entre los dos ensayos. Los resultados obtenidos nos indican que *A. mangium* puede representar un problema en suelos tropicales ácidos, debido a que recicla gran cantidad de manganeso.

GONZALEZ, DE L. F. 1997. Effect of *Acacia mangium* Will as improved fallow on phosphorus availability for subsequent crops in an acid Ultisol soil. Thesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 96 p.

Keywords: improved fallow, phosphorus, *Acacia mangium*, agroforestry systems, nutrients availability, acid soils, limed soils, nutrients recycling, phosphorus fractionation.

## SUMMARY

Improved fallows are an alternative to migratory agriculture. During these migration periods the biological, chemical and physical properties of soils improve and nutrients are accumulated in plant biomass. One of the main current limitations to establish and maintain agroforestry systems is the phosphorus availability for the associated culture (Ruiz 1991). In tropical regions, there are vast soil extensions which can be considered of low fertility (oxisols and ultisols), with great edaphic limitations for crops production.

The utilization of forest species for marginal soils' rehabilitation is a common practice in the tropics. *Acacia mangium* as well as other *acacias* have received little attention in regards to their litter production, mainly because plantations were established just until recently.

The objectives of this research were to determine the effectiveness of *A. mangium* as improved fallow to supply nutrients for subsequent crops and to evaluate if there is any interaction between the application of a calcareous amendment and the availability of phosphorus in the system.

This study was carried out between the months of October, 1996 and July, 1997, at the Agriculture Sciences School of the University of Panama in the Province of Chiriqui, Chiriqui, Panamá, located at 8° 23' 40" North latitude and 82° 20' 03" West longitude, at an altitude of 25 masl. The life zone corresponds to the basal tropical humid forest (Holdridge, 1987) and the soil corresponds to an Ultisol, Haplohumult great group Haplohumult Plinthic sub group.

Two experiments were established to conduct this research: one with an *A. mangium* tree planted in 1991 (improved fallow) and the other without an *A. mangium* tree established in October, 1996. The treatments for the improved fallow experiments were: 1) *A. mangium* without lime (0 kg/ha - CaCO<sub>3</sub>); 2) *A. mangium* + 50% lime (2.435 kg/(ha - CaCO<sub>3</sub>); 3) *A. mangium* + 100% lime (4.870 kg/ha - CaCO<sub>3</sub>). The treatments for the experiments without a tree were: 1) Control/only "caupi" bean (*Vigna*); 2) 50% lime (2.435 kg/ha - CaCO<sub>3</sub>) without *A. mangium*; 3) 50% lime (2.435

kg/ha - CaCO<sub>3</sub>) + P (50 kg/ha-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) without *A. mangium*. Plots were arranged in a complete randomised block design with three replicates.

The crop employed as associate culture for this research was "caupi" bean (*Vigna*) to which the following variables were evaluated: P contents in leaves' biomass, stems, roots and pods; plants number/plot; pods number/plant; grains number/pods and total yield. Soil phosphorus fractions were calculated using the method of Hedley *et al* (1982), with modifications proposed by Macêdo (1996). Two soil samples were taken at 5 cm depth, the first after one month of culture and the second at the end of the culture cycle.

When phosphorus fractionation was conducted, it was found that the improved fallow system provided a higher quantity of organic P to the total amount of phosphorus in the soil. This organic fraction is of great importance as deposit of recycled P since soils show high fixation, achieving values of up to 72%. The contributions of inorganic fractions were similar for both experiments. There are tendencies which indicate time changes of some soil phosphorus fractions (Pi in NaHCO<sub>3</sub>, organic P and residual Pi).

The calcareous amendment increase the availability of phosphorus and decrease the manganese content of the soil in the fallows. The source of fertilizer supply phosphated in the trial without tree influence the yield of the caupi.

Bean foliar nutriments content was influenced by the treatments (fertilizing, liming and fallow), though foliar concentrations were under critical levels, mainly regarding macronutrients (N, P, Mg and K). For the treatment without trees + lime + P, the highest values were obtained for nitrogen and phosphorus while dry matter production during physiological maturity did not differ between experiments. The results obtained indicate that *A. mangium* can represent a problem for acid tropical soils because it recycles significant quantities of manganese.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1:	Análisis de varianza correspondiente al modelo estadístico utilizado en los ensayos.....	36
Cuadro 2:	Componentes de rendimiento de los ensayos, sin árbol y con árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.....	37
Cuadro 3:	Porcentaje de materia seca en vainas, hoja+tallo y raíz a la madurez fisiológica. Chiriquí, Panamá. 1997.....	41
Cuadro 4:	Contenido de nutrimentos en el suelo, en ensayos con árbol y sin árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.....	42
Cuadro 5:	Contenido de nutrimentos en las hojas de frijol, a la floración. Chiriquí, Panamá. 1997.....	45
Cuadro 6:	Resultados de análisis foliar de follaje fresco y hojarasca de <i>A. mangium</i> , provenientes del barbecho. 1997.....	48
Cuadro 7:	Contenido de fósforo en las fracciones y P total de las muestras de suelo, primer muestreo. Chiriquí, Panamá. 1997.....	51
Cuadro 8:	Contenido de fósforo en las fracciones y P total de las muestras de suelo, segundo muestreo. Chiriquí, Panamá. 1997.....	52

Cuadro 9:	Variación en el contenido de P de las fracciones y P Total de los tratamientos evaluados, en función de la época de muestreo.....	55
-----------	---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Localización del ensayo, Chiriquí, Panamá. 1997.....	26
Figura 2:	Promedio anual de precipitaciones en la F.C.A. Chiriquí, Panamá. 1997.....	27
Figura 3:	Croquis del ensayo en donde se muestra la ubicación de los bloques y tratamientos. Chiriquí, Panamá. 1997.....	29
Figura 4:	Diagrama del fraccionamiento secuencial de P del suelo, modificado de Hedley et al (1982).....	34
Figura 5:	Rendimiento de frijol. Chiriquí, Panamá. 1997.....	39
Figura 6:	Contenido de fósforo en la planta, por tratamiento, a la madurez fisiológica. Chiriquí, Panamá. 1997.....	50
Figura 7:	Distribución de las fracciones de P para dos épocas de muestreo. Ensayo sin árbol.....	56
Figura 8:	Distribución de las fracciones de P para dos épocas de muestreo. Ensayo con árbol.....	57

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1:	Metodología utilizada para la determinación de las fracciones de fósforo del suelo (Hedley 1982, modificado por Macêdo, 1996).....	70
Anexo 2:	Coefficiente de correlación de Pearson ( r ) entre rendimiento y fertilidad de suelo. Ensayo con árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.....	76
Anexo 3:	Coefficiente de correlación de Pearson ( r ) entre rendimiento y fertilidad de suelo. Ensayo sin árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.....	77
Anexo 4:	Intervalos de confianza al 95% para componentes de rendimiento. Chiriquí, Panamá. 1997.....	78
Anexo 5:	Intervalos de confianza al 95%, fertilidad de suelo. Macronutrientes. Chiriquí, Panamá. 1997.....	79
Anexo 6:	Intervalos de confianza al 95%, fertilidad de suelo. Micronutrientes. Chiriquí, Panamá. 1997.....	80
Anexo 7:	Coefficiente de correlación de Pearson ( r ) entre rendimiento y nutrientes foliares. Ensayo con árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.....	81
Anexo 8:	Coefficiente de correlación de Pearson ( r ) entre rendimiento y nutrientes foliares. Ensayo sin árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.....	82

Anexo 9:	Porcentaje de nutrimentos en la planta a la madurez fisiológica. Chiriquí, Panamá. 1997.....	83
Anexo 10:	Intervalos de confianza al 95% para micronutrimentos foliares. Chiriquí, Panamá. 1997.....	84
Anexo 11:	Intervalos de confianza al 95% para macronutrimentos foliares. Chiriquí, Panamá. 1997.....	85
Anexo 11:	Continuación.....	86

## 1. INTRODUCCION

El sistema de barbecho es la última fase de la intensificación de la llamada agricultura migratoria, antes de cambiar de un sistema de cultivo semi-permanente a uno permanente. Cuando la relación entre el período de barbecho y las fases de cultivo disminuye, el sistema de barbecho se acerca mucho a los límites permisibles de una explotación sostenible (Staver 1989). Según Chidumayo (1988), el propósito del barbecho dentro de un sistema de cultivo, es el de mejorar la fertilidad del suelo; así como suministrar algunos productos forestales, incluyendo en ciertos casos, alimento para el ganado.

Las interacciones del sistema de barbecho varían, dependiendo del tipo de suelo y clima. Algunos factores que modifican las características físicas, químicas y biológicas de los suelos han sido objeto de amplio estudio (Staver, 1989; Fisher, 1995; Palm, 1995). Estos autores indican; que durante el período de barbecho los nutrimentos son acumulados en la biomasa, se incrementa la materia orgánica, mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, las malezas son eliminadas y los ciclos de plagas son interrumpidos.

La presión de la población y la escasez de tierras aptas para cultivos han acortado los períodos de barbechos, lo que provoca la degradación de los suelos y disminución de los rendimientos. Cuando el barbecho natural no contribuye a los propósitos antes mencionados, entonces se debe tratar de mejorar el manejo de estos mediante la utilización arbustos o árboles seleccionados (Chidumayo, 1988); sin embargo, Fisher, (1995) indica que la habilidad de los árboles para mejorar los sitios degradados en el trópico es ampliamente debatido.

El estudio de nuevas especies de árboles que contribuyan a mejorar los barbechos, tanto económicamente (leña, madera, frutas y otros) como biológicamente (fijadores de nitrógeno, control de malezas, etc.), es una necesidad con miras a habilitar grandes extensiones de suelos que han sido abandonados por no sustentar la producción de cultivos agrícolas (Kass et al, 1994). El barbecho mejorado surge como un alternativa para mejorar los sistemas de agricultura migratoria, transformándolos en sistemas agroforestales estables (Nair, 1993).

Fisher (1995) trabajando con ocho especies nativas entre ellas: *Inga edulis*, *Vochysia guatemalensis* y *Vochysia ferrujinea* y tres especies exóticas, *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y *Pinus tecunumanii*, encontró cambios significativos en las propiedades del suelo y considerable mejoramiento de suelos degradados en un corto período, con algunas de las especies.

Una de las principales limitaciones que existen en el establecimiento y persistencia de sistemas agroforestales, es la disponibilidad de fósforo para el cultivo asociado (Ruíz, 1991). La mayoría de las veces, estos sistemas se establecen en suelos de baja fertilidad, considerablemente degradados.

En las regiones tropicales existen grandes extensiones de suelo que pueden ser considerados de baja fertilidad (Oxisoles y Ultisoles), con grandes limitaciones edáficas para la producción de cultivos; éstas son más de naturaleza química que física, incluyendo deficiencias de P-N-K-S-Ca-Mg-Zn, más la toxicidad por aluminio y la alta fijación de fósforo (Sánchez y Salinas, 1985).

La utilización de especies arbóreas para la rehabilitación de suelos marginales es una práctica común en el trópico, aunque existe muy poca información acerca de los beneficios reales de esta experiencia.

*Acacia mangium* y otras acacias han sido relativamente poco estudiadas en sistemas agroforestales en lo que se refiere a la producción de hojarasca y otros aspectos relacionados con el mejoramiento de suelos, particularmente porque solo recientemente se han establecido plantaciones y también, la información ha sido considerada solo de interés académico (Tsai, 1992).

Estudios realizados por Fisher (1995), muestran que *A. mangium* mejoró significativamente contenidos de carbono orgánico, fósforo extraíble, calcio y densidad aparente del suelo en los primeros 15 cm del suelo, después de 3 años de ocupado el sitio, destacándose entre 10 especies fijadoras y no fijadoras de nitrógeno.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 General

- Determinar la efectividad de *Acacia mangium*, como barbecho mejorado en suplir nutrimentos a cultivos posteriores y evaluar si existe interacción entre la aplicación de cal y la disponibilidad de fósforo en el sistema.

### 2.2 Específicos

- -Evaluar y cuantificar el fósforo disponible en el suelo proveniente de la materia orgánica de acacia y estimar su efecto en el rendimiento del cultivo.
- -Conocer los aportes de las fracciones orgánicas e inorgánicas en el contenido total de fósforo en el suelo.
- -Determinar a través de análisis foliares y componentes del rendimiento; la eficiencia del barbecho mejorado en suplir nutrimentos al cultivo.
- -Comparar dos fuentes de aplicación de fósforo al suelo (orgánico e inorgánico) y su efecto en la producción de frijol caupí.

## 3. HIPOTESIS

- El barbecho de *A. mangium* suministra los nutrimentos necesarios para cultivos posteriores y mejora la fertilidad del suelo.
- La fuente de suministro de fósforo (orgánica e inorgánica) no influye en la producción de cultivos.
- No existe interacción de la enmienda calcárea en la disponibilidad de fósforo con barbechos mejorados.

## 4. REVISION DE LITERATURA

### 4.1 Contenido y formas de fósforo en suelos tropicales.

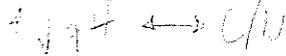
El fósforo se caracteriza por ser el elemento tal vez más estable dentro del suelo. No se pierde por lavado ni por volatilización como el nitrógeno; sin embargo, esta alta estabilidad implica baja solubilidad, esto es, que muchos suelos tropicales tienen una muy alta capacidad para retener fósforo, lo que causa deficiencia de disponibilidad de éste para las plantas (Bertsch, 1995). Primavesi (1980) anota que el mayor problema en los países de clima tropical es evitar que el fósforo sea retenido formando complejos poco accesibles a los vegetales. El fósforo generalmente se liga a algún compuesto del suelo y puede existir en forma de humatos de apatita o ligado al hierro o aluminio. Cuando el suelo está intemperizado es mayor la fijación de fósforo. Donde la arcilla está intacta y cristalizada la fijación es menor, mientras que los óxidos amorfos de aluminio y hierro, aluminio intercambiable y alófanos tienen un alto poder de fijación.

Los fosfatos se encuentran en los suelos en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos y en la solución del suelo dependiendo del pH, como varios aniones del ácido fosfórico. La forma iónica más abundante la representa el anión ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). En los suelos naturales el contenido de fósforo, si bien varía ampliamente, es por lo general bajo, existen unos 200 minerales que contienen el elemento como uno de sus constituyentes, pero son las apatitas las más representativas.

Borie y Barea (1981), consideran que desde el punto de vista de nutrición vegetal, existen tres importantes fracciones del fósforo en el suelo:

1. Fósforo en la solución del suelo.
2. Fósforo en el "pool" lábil.
3. Fósforo en la fracción no lábil.

Las fracciones uno y dos corresponden al llamado fósforo disponible. la tercera fracción se libera muy lentamente, y corresponde al fosfato insoluble, tanto orgánico como inorgánico.



En suelos ácidos (ultisoles y oxisoles), existe abundancia de hierro y aluminio que reaccionan con el fósforo, formando compuestos insolubles donde éste queda fijado y no disponible para las plantas. Cuando se aplican abonos fosfatados o cuando el fósforo es liberado de los compuestos orgánicos este puede reaccionar con el aluminio y hierro en la solución del suelo y quedar inmovilizado (Sánchez, 1981; Primavesi, 1980).

De acuerdo con Coleman et al, citados por Sánchez (1981) un miliequivalente de aluminio intercambiable puede fijar alrededor de 70 ppm de fósforo (el aluminio se precipita). Cuanto mayor sea el contenido aluminio intercambiable y de óxidos de hierro y aluminio, tanto mayor es su capacidad de fijación. Las formas amorfas de aluminio en suelos de origen volcánico (andisoles), igualmente presentan alta capacidad de retener fósforo. Molina et al (1991) encontraron valores de fijación de P en andosoles del orden de 85% cuando se utilizó el método de Nueva Zelanda y de 96% cuando la determinación se realizó utilizando isoterms de adsorción.

Los procesos de adsorción de fósforo en el suelo pueden disminuirse cuando se mantienen niveles altos de materia orgánica en el suelo, aunque su rol en el suelo es ambivalente en este aspecto ya que, puede bloquear potenciales sitios de retención en la superficies de partículas inorgánicas

(arcillas y óxidos metálicos) o algunas veces absorber fosfatos (López - Hernández, 1977).

La concentración de fósforo en la solución del suelo es del orden de 0,1 a 1  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; solo raramente excede este rango. La solubilidad del fósforo es afectada por estar asociada a efectos de pH y absorción en superficies de arcilla. El fósforo en solución se equilibra rápidamente con la fracción lábil, siendo en muchos suelos una relación lineal (Paul y Clark, 1996).

#### 4.1.1 Fósforo total

El contenido de fósforo total varía de acuerdo a la zona, heterogeneidad de las rocas parentales, al desarrollo de los suelos y otras condiciones edafológicas y ecológicas. En suelos minerales de áreas templadas, el contenido total de fósforo varía entre 0,02 y 0,08 % (200 a 800 mg/kg), con un promedio de 0,05% (500 mg/kg). En tanto en suelos tropicales como oxisoles y ultisoles de Venezuela, se reportan valores que van de 18 mg/kg hasta 3.300 mg/kg de suelo, en el caso de los derivados de cenizas volcánicas de América Central (Fassbender y Bornemisza, 1987).

El fósforo total en la capa arable disminuye conforme aumenta la intensidad de la meteorización. Los suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de fósforo total que los desarrollados de sedimentos meteorizados y re-depositados en las áreas bajas tropicales.

Así, en oxisoles, ultisoles y alfisoles es común que los valores de fósforo total sean inferiores a 200 ppm, mientras que en andisoles, oscilan entre 1000 y 3000 ppm (Bertsch, 1995). Generalmente los vertisoles son muy bajos en fósforo total variando de 20 - 90 ppm. Por otra parte, al aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, aumenta el

contenido de fosfatos orgánicos y por lo tanto, los contenidos totales llegan a ser mayores.

Fassbender y Bornemisza (1987), indican que el contenido total de fósforo esta influenciado por la textura de los suelos, tanto en áreas de clima templado como tropical, entre más fina sea la textura mayor es el contenido de fósforo total. De manera general, el contenido total de fósforo disminuye con la profundidad del suelo, esto se debe a la disminución del contenido de materia orgánica y por el avance de la meteorización del perfil.

#### 4.1.2 Fósforo Orgánico

El fósforo unido a compuestos orgánicos constituye entre el 30 - 50% del total del fósforo en la capa arable, para la mayoría de los suelos, pero puede variar en rangos de 5% al 95%. Los valores más altos corresponden en su mayoría a suelos altamente meteorizados, como oxisoles, ultisoles, alfisoles y suelos con arcillas amorfas, representando entre un 60g - 80%. El fósforo orgánico del suelo está constituido por fitatos o formas similares, ácidos nucleicos y sus derivados y fosfolípidos. La fitina es principalmente hexametáfosfato de inositol. Mucho de este fosfato se presenta en formas de polímeros, algunos de éstos pueden atribuirse a los microorganismos ( Paul y Clark, 1996).

En suelos de América Central donde predominan fosfatos de aluminio y hierro, la fracción orgánica contribuye con un 25% del fósforo total, mientras que en suelos con predominancia de fosfatos de calcio, ésta alcanzaba un promedio de 41%. (Fassbender et al, 1968) .

Bertsch (1995) y Paul y Clark (1996), consideran que el fósforo orgánico es la fuente principal de fósforo para la agricultura sin fertilizante, de ahí que su conservación y manejo es de gran significado práctico en sistemas agrícolas tradicionales o de uso mínimo de insumos.

Se ha encontrado que algunos factores como la temperatura, la precipitación pluvial, la acidez del suelo, la actividad biológica, el grado de desarrollo de los suelos, determinan el grado de participación de los componentes orgánicos en el fósforo total (Alexander, 1981; Fassbender, 1975; Bertsch, 1995; López, 1996).

La principal fuente de fósforo orgánico en el suelo es aportado por la gran cantidad de vegetación que se descompone en el suelo. Existe una relación entre el contenido de carbono con el contenido de fósforo en el suelo; C/P:100 (suelos ricos en fósforo); C/P: 200 (promedio); C/P: 500 (suelos pobres en fósforo). (Fassbender, 1993). Los cultivos agrícolas tienen generalmente de 0,05 - 0,5 por ciento de fósforo en sus tejidos, considerándose valores de 0.2% como concentración crítica.

Black y Goring citados por López Arana (1960), mencionan que las cantidades de fósforo orgánico en los suelos correlacionan positivamente con los contenidos de carbono y nitrógeno orgánicos. La materia orgánica de los suelos minerales contiene estos elementos en una relación C:N:P = 110-9-1, ésta puede variar de acuerdo con la calidad del residuo orgánico que se deposita en el suelo.

El componente orgánico del fósforo tiene marcada importancia en suelos tropicales meteorizados y con pocas fuentes de materiales parentales que contienen fósforo entre sus componentes, esta fracción del fósforo total

también se ha estudiado relacionándola con el ciclaje del elemento en sistemas de producción de cultivos.

#### 4.1.3 Fósforo Inorgánico.

Existen varias formas de fosfatos inorgánicos en los suelos:

- Como constituyente de minerales fosfatados
- Absorbido a la fracción mineral u orgánica del suelo
- En solución.

Entre los fosfatos inorgánicos se diferencian compuestos químicamente bien definidos o cristalizados y no bien cristalizados o amorfos. En los suelos ácidos el fósforo se encuentra asociado generalmente al Al o Fe:

- $\text{Al}(\text{OH})_2 \text{H}_2\text{PO}_4$  = Variscita
- $\text{Al}(\text{OH})_3 (\text{PO})_2$  = Wavelita
- $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  = Estrengita
- $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  = Vivianita

Además se deben tener en cuenta también formas químicas no bien definidas o amorfas como los fosfatos absorbidos al complejo coloidal y ocluidos en los hidróxidos de Al, Fe y Mn a través de su proceso de cristalización y desarrollo (Fassbender, 1975).

Sánchez (1981), clasifica el P inorgánico del suelo en tres fracciones activas y dos relativamente poco activas. Las primeras agrupan los fosfatos unidos al calcio, hierro y aluminio. Las formas menos activas representan la fracción ocluida y aquellas que se llegan a disolver bajo condiciones de reducción química del suelo a través de determinaciones de P inorgánico del suelo, se establecen criterios para su distribución (Fassbender, 1975), dependiendo del grado de meteorización química, desarrollo y pH. De esta manera se considera que en suelos jóvenes predominan fosfatos cálcicos, en

los de desarrollo medio se presentan cantidades balanceadas de las diferentes formas de fósforo inorgánico y en suelos maduros predominan los fosfatos ocluidos en hidróxidos de Al, Fe y Mn. Por lo tanto, los fosfatos de calcio son más solubles que los de aluminio y estos que los hierro (Sánchez, 1981).

Otros aspectos importantes en la distribución de fosfatos en los suelos son la humedad y la granulometría; así, en los suelos arenosos predominan los fosfatos cálcicos y en los arcillosos los aluminicos y férricos. Las condiciones de inundación propician la acumulación de fosfatos ferrosos (Fassbender y Bornemisza, 1987)

Fassbender (1967), indica que en algunos suelos existen fosfatos ocluidos considerados inertes, con una solubilidad reducida y una disponibilidad muy escasa para las plantas. En estudios de fraccionamiento (Hedley et al, 1982) los consideraron como fósforo residual y el porcentaje en relación al fósforo total en el suelo es alto (20-80%) (Tiessen, 1992).

Una fuente potencial de fósforo disponible para las plantas lo representan los fosfatos de Al y Fe, (Tiessen, 1992). Es por ello que en las interpretaciones de las formas de fósforo en el suelo se debe considerar la distribución y profundidad de los perfiles. Generalmente se obtienen contenidos más altos de fósforo orgánico en los horizontes superficiales; en tanto que las formas inorgánicas, generalmente aumentan con la profundidad, esto como resultado de la acumulación biológica.

#### **4.1.4 Fósforo Microbial.**

La importancia de los microorganismos en el ciclo de nutrimentos en el suelo y su papel en la nutrición de plantas ha sido ampliamente estudiado. Ellos son parte activa en la descomposición y mineralización de

la materia orgánica, (Kucey et al, 1989), este es un grupo diverso, donde se incluyen bacterias, actinomicetos y varios grupos de hongos.

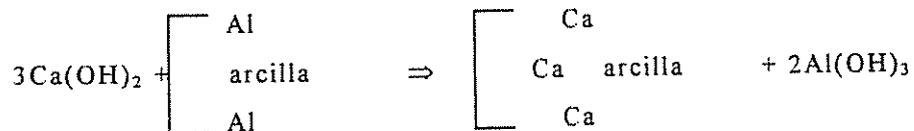
Los fosfatos insolubles no son asimilables por muchas plantas, pero muchos microorganismos pueden transformarlos a formas más solubles. Estos microorganismos que son especies de *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Aspergillus*, y otros son muy activos en esta conversión, ellos crecen en un medio con fosfato de calcio, apatito y otras formas insolubles, son capaces de asimilar estos elementos y a la vez hacen soluble una gran parte de ellos (Silverio et al, 1991).

Hedley et al (1982) indican que los valores de P microbial representan aproximadamente un 14% de P orgánico y de 2 - 3% del P total del suelo, aunque estos valores dependen mucho del factor de recuperación que se utilice en la determinación y que varía de acuerdo a la capacidad de retención que tenga el suelo, consideran que un factor de 0,4 es aconsejable.

Borie y Barea (1981b), señalan que en estudios realizados a la composición mineral de hongos y bacterias, se ha encontrado que las bacterias acumulan mayor cantidad de fósforo (1,5 - 2,5 por ciento de su peso seco) que los hongos (0,5 por ciento) o las plantas (0,05 - 0,5 por ciento). Brookes et al (1984), estudiaron los contenidos de P microbial en 15 suelos, 8 bajo pasturas, 6 bajo cultivos anuales y 1 bajo árboles deciduo, encontrándose un promedio de 3,3 por ciento de P en la biomasa microbial. Indican además, que el contenido de P microbial tiende a ser más alto en suelo bajo pasturas que en suelos arables, esta fracción del fósforo orgánico es altamente lábil si se compara con otras formas de P orgánico como son los fosfatos de inositol que son muy estables.

## 4.2 Efectos del encalado sobre la disponibilidad de fósforo.

Cuando se adiciona el carbonato de calcio a suelos ácidos, ocurre una reacción entre el calcio y las formas activas de aluminio y hierro (asociados con las arcillas). Esta reacción se ilustra a continuación:



Después que el proceso de neutralización finaliza, las formas absorbentes del hierro y aluminio disminuyen; de esta manera el proceso de inmovilización de fosfatos en suelos ácidos naturales decrece por acción de la enmienda (López - Hernández 1977).

Aumentar el pH del suelo hasta valores de 5,5 es una medida adecuada para aumentar la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos, aunque no logra eliminar completamente los factores de fijación. Samudio (1988), anota que al aplicar carbonato calcio al suelo aumento la translocación de fosfatos a las partes aéreas de plantas de frijol creciendo sobre un Andisol.

## 4.3 Mineralización e inmovilización del fósforo

El proceso de mineralización enfatiza el papel de los microorganismos en la conversión del P orgánico a P inorgánico. Estos microorganismos son abundantes en el suelo rizosférico, y por su acción se liberan los iones fosfatos que pueden ser aprovechados por las plantas (Borie y Barea, 1981).

Alexander (1981), indica que los procesos de mineralización son generalmente más rápidos en suelos vírgenes que en suelos cultivados, tanto en la cantidad movilizada como en el porcentaje de fósforo orgánico que se mineraliza. La temperatura elevada de los trópicos favorece la descomposición microbial; el pH también determina en parte las tasas de mineralización, al afectar el metabolismo microbiano, valores cercanos a la neutralidad favorecen la liberación de fosfatos, de allí la importancia de aplicar enmiendas a aquellos suelos donde la acidez limita la disponibilidad de fósforo.

Existe una relación directa entre la cantidad y calidad del sustrato y la tasa de mineralización (Alexander, 1981), tanto es así que en suelos con niveles altos de P orgánico, se encuentra una población microbial más activa, hay que anotar que la adición de fosfatos inorgánicos no inhibe la liberación del P de compuestos orgánicos

Los mecanismos microbiológicos por los cuales el fósforo inorgánico insoluble es movilizado aún envuelve cierta incertidumbre. El ácido carbónico y el  $\text{HCO}_3$  derivados de la respiración del  $\text{CO}_2$  son de primordial importancia en la meteorización de los minerales del suelo, pero existe poca relación entre los niveles de  $\text{CO}_2$  y la disolución de la apatita (Paul y Clark, 1996). Por otro lado Silverio et al (1991), anotan que la actividad de la solubilización del P se incrementa a medida que aumenta la actividad biológica del suelo por medio de la producción de anhídrido carbónico en ese proceso.

Paul y Clark (1996), indican que la producción y liberación de ácidos orgánicos por los microorganismos y la raíz puede guardar cierta relación con la solubilización de fosfatos, pero experimentos realizados in vitro donde se compararon microorganismos con adición de HCl, aunque se

cambio el pH, hubo pobre correlación con la cantidad de fósforo solubilizado. Esto se puede deber a que cuando se libera  $H^+$  de la superficie de la célula en la absorción de catión (especialmente  $NH_4$ ) se utiliza energía del ATP en la transferencia. Illmer y Schinner (1992), consideran la hipótesis de que la solubilización del fósforo puede darse directamente en la superficie de la célula donde el  $H_2PO_4$  o  $HPO_4^{2-}$  (dependiendo del pH) puede ser rápidamente absorbidos.

Otro aspecto que reviste gran importancia para suelos pobres en fósforo natural es la utilización de relaciones simbióticas a través de hongos micorrícicos. Alexander (1981), encontró diferencias en crecimiento favorables cuando aparecía el hongo en la raíz de plantas infectadas, de aquellas donde no aparecía. Esta relación benéfica se podría explicar si se considera que los micelios se extienden más que las raíces atrayendo hacia las plantas el fósforo de lugares más alejados.

Lavelle et al (1994), indican que los hongos del suelo poseen la habilidad de alcanzar nuevos sustratos a través de los micelios que translocan las sustancias nutrimentales al citoplasma, encontró también que en la dispersión de los propágulos del hongo juegan papel importante los invertebrados. Los mecanismos que utilizan los hongos para solubilizar fosfatos son diversos y en algunos casos poco comprendidos (Illmer y Schinner, 1995; Illmer y Schinner, 1992; Kucey et al, 1991). Los estudios indican una correlación positiva entre la solubilización de fosfatos inorgánicos y la excreción de ácidos orgánicos por los microorganismos.

Entre los ácidos orgánicos tenemos: láctico, glicólico, cítrico, málico, oxálico, malónico, tartárico y ácido succínico todos ellos tienen propiedades quelatizantes y pueden activar componentes de compuestos fosfatados.

Los hongos del suelo a diferencia de las bacterias pueden llegar a establecer relaciones simbióticas o mutualísticas con las raíces. Con la disminución del pH aumenta la población de hongos y disminuye la bacteriana. Entre el grupo de hongos del suelo, las micorrizas son de gran importancia en la disponibilidad de fósforo para las plantas, la asociación de estos hongos con las raíces usualmente mejora la absorción, translocación y transferencia de iones fosfatos de la solución del suelo a células de la raíz. Para que esto se produzca, la raíz excreta carbohidratos que atraen hongos a la rizosfera, y también hormonas que incentivan la penetración del hongo a la raíz, la relación se ve favorecida en suelos arenosos pobres en materia orgánica y pobre fertilidad. (Primavesi, 1980).

Existe una gama de efectos benéficos, directos e indirectos, de esta asociación simbiótica con hongos formadores de MVA, destacándose entre ellas el aspecto nutrimental. Mediante el micelio externo la raíz micorrizada explora un volumen más grande de suelo que la raíz no micorrizada, en especial elementos poco móviles en el suelo como son: P, Zn, S, Ca, Mo, B, etc. El hongo transporta los nutrimentos, principalmente el fósforo (en forma de órgano-fosfatos) a través del micelio hacia la raíz y los intercambia, en las células epidérmicas de la misma, por carbohidratos que requiere para su desarrollo (Sieverding, 1989; Kropp y Langlois, 1990).

Estudios realizados por varios autores, Joner y Jakobsen (1995); Joner et al (1995) y Tarafdar y Marshner (1994), tratan de establecer las relaciones existentes entre las micorrizas arbusculares, raíces y las hifas en la producción de fosfatasas extracelulares y la influencia de éstas en los cambios de las formas de fósforo en el suelo. Ellos encontraron que las micorrizas acrecentan la actividad de las fosfatasas ácidas y alcalinas derivadas de la raíz micorrizada. Tarafdar y Marshner (1994), demostraron que la producción de fosfatasas por las hifas de las micorrizas, contribuyen

a la absorción de fósforo de las diferentes fuentes. El fósforo fue transportado desde una distancia de 30 mm, hacia la raíz del hospedero. Jøner y Jakobsen (1995), indican que las micorrizas pueden influenciar la exudación de fosfatasa ácida por las raíces. Jayachandran et al (1992), demostraron igualmente el potencial de los hongos micorrizicos en la mineralización del fosfato orgánico.

Ascon-Aguilar et al (1986), indican que las micorrizas vesículo-arbusculares (VA) son de simbiosis mutualísticas entre las raíces de la mayoría de las plantas; favoreciendo el crecimiento de las plantas ya que juegan un papel fundamental en la captación de fosfatos y otros nutrimentos y que usualmente mejoran la nutrición de la planta hospedera. La NAS (1979), anota que estos hongos no son específicos para hospederos, los mismos hongos que producen micorrizas en los árboles, pueden igualmente formar estas estructuras en los cultivos que se planten cuando se aclare el bosque.

Las micorrizas vesículo-arbusculares son de gran importancia en la mayoría de las leguminosas porque estimulan la nodulación por *Rhizobium*, por consiguiente, incrementan la fijación de nitrógeno. Las micorrizas benefician a los árboles por el incremento en la absorción de nutrimentos y agua, incremento a la tolerancia a enfermedades, condiciones extremas de suelo (alta acidez y toxicidades), el largo del sistema radicular para obtener nutrimentos y protege a los pelos radiculares de ciertos hongos perjudiciales. La inmovilización de fosfatos en el suelos ácidos tropicales se da a través de dos mecanismos, uno producto de la fijación en compuestos inorgánicos ya tratados anteriormente y otro en forma orgánica por la intervención de microorganismos del suelo (biomasa microbial), pero también, por la acumulación temporal en la biomasa vegetal (Alexander, 1981).

Los microorganismos mineralizadores requieren de formas disponibles de fósforo para su síntesis celular, tanto así que su desarrollo esta limitado por la cantidad de fosfatos utilizables en su hábitat, en suelos donde este elemento es limitante, la adición de fósforo al suelo estimula la actividad microbiana (Alexander, 1981).

El fósforo inmovilizado es incorporado a la fracción orgánica y no disponible del fósforo total. Sparling (1985), estima que la inmovilización microbiana del fósforo no representa una desventaja muy marcada para las plantas; ya que, los períodos de máxima inmovilización coinciden con períodos de mínima actividad de las raíces y baja demanda del elemento por las plantas.

Alexander (1981) y Sparling (1985), anotan que adicionar materiales orgánicos que presenten una alta relación C/P, estimula el crecimiento y la actividad microbiana y por consiguiente un aumento en la demanda de fósforo, teniendo que formar fósforo orgánico a expensas de fósforo inorgánico.

La inmovilización neta y mineralización se han estimado a través de la relación C/P orgánicos (Borie y Barea 1981). Ellos sugieren que cuando la relación es de 200:1 o menor ocurre mineralización, pero cuando es de, 300:1 o mayor ocurre inmovilización, de esta manera identifican un nivel crítico de fósforo en el material orgánico que regula estos dos estados y que aproximadamente es 0,2 por ciento.

#### **4.4 Sistemas de barbecho.**

Existe una estrecha relación entre la agricultura migratoria y los sistemas de barbechos. La agricultura migratoria se puede definir, como un

sistema en el que períodos cortos de cultivos se alternan con ciclos relativamente largos de descanso (barbecho), 15-18 años. El barbecho está caracterizado por una vegetación generalmente secundaria, que sucede al bosque y a los cultivos, tiene diferentes características de acuerdo al tipo de suelo y al entorno ecológico (Ruiz, 1996).

Vásquez (1992), considera el barbecho como un período de descanso del suelo después de unos años de cultivos cuyo objetivo es dejar desarrollar una vegetación secundaria de árboles, arbustos y hierbas, para restablecer la capa vegetal del suelo. La duración de este período de descanso depende de la cantidad de tierra que tiene el agricultor.

Un aspecto básico en el manejo de los barbechos lo representan las características de las especies utilizadas, Fassbender (1993), considera las siguientes:

- Desarrollo rápido para cubrir el suelo, controlar malezas y disminuir la erosión.
- Alta producción de biomasa, adecuada relación C/N, alto contenido de nutrimentos
- Extracción de elementos nutritivos de horizontes profundos, fijación de N.
- Evitar efectos alelopáticos.
- Productos secundarios (alimentos, leña madera, etc.).

Por otro lado Montagnini y Sancho (1990), señalan que al utilizar especies arbóreas en sistemas agroforestales es necesario tomar en consideración los beneficios tanto económicos, como efectos sobre las características físicas y químicas del suelo tales como:

- Mejoramiento de la estructura del suelo.

- Protección contra la erosión.
- Aumento de la conservación de nutrientes al suelo.
- Aumento en la disponibilidad de nutrientes.

La fase de barbecho permite que se restablezca el ciclaje de nutrientes, ya que la parcela es colonizada por la vegetación secundaria; después de cierto tiempo las propiedades del suelo, que han sido disminuidas o afectadas por años sucesivos de cultivos, son nuevamente aptas para soportar cultivos anuales, cuando los períodos de barbechos son lo suficientemente largos como para restablecer la fertilidad del suelo y la presión poblacional permite un uso racional de la tierra. (Nair, 1993; Montagnini, 1992; Beer et al., 1989).

Chidumayo (1988), destaca que en Zambia estos sistemas están diseminados en amplias áreas dominadas por acacias, éstas tienen un incontrolado desarrollo luego que la tierra es abandonada después de ciclos de cultivos. Además de restaurar al suelo nutrientes a través de la extracción de capas profundas del suelo y reciclarlos por medio de la biomasa, estos árboles proveen otros productos como son madera, leña, postes y alimento para animales.

Fassbender (1993) y Montagnini (1992), encuentran en los barbechos una forma eficiente de recuperación de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, a través de la producción de materia orgánica. También indican que estos pueden ser utilizados para romper el ciclo de malas hierbas y plagas que atacan los cultivos. El éxito del barbecho depende de la capacidad que tenga la vegetación para restablecer el ciclaje de nutrientes en la parcela abandonada.

Las investigaciones más recientes en agroforestería se enfocan hacia el ciclaje de nitrógeno (Ruiz, 1993). Bajo este concepto, la utilización de árboles leguminosos en sistemas agroforestales logra cubrir las necesidades, parciales y algunas veces totales de nitrógeno, del cultivo asociado. Sin embargo, el fósforo es otro nutrimento que debe ser considerado, es particularmente importante considerando la alta capacidad de fijación de fósforo de muchos suelos tropicales y la gran cantidad del elemento que es exportado por las cosechas.

#### **4.5 Barbecho mejorado.**

Existen dos formas de considerar el mejoramiento de un barbecho, mejoramiento económico y mejoramiento funcional. En la época actual se ha considerado el barbecho como un periodo improductivo necesario solo para su utilización durante el periodo productivo con cultivos anuales. En realidad los barbechos tienen un potencial productivo considerable que hasta ahora no se ha visto o comprendido (Johnson y Magariños, 1995).

Nair (1993), indica que un barbecho mejorado con árbol es un sistema rotacional que utiliza preferentemente arboles como especies para barbechos, en oposición a la colonización de la vegetación natural. Los arboles son utilizados en rotación con cultivos, como en un sistema tradicional de agricultura migratoria. Por lo tanto, el término sistema de barbecho mejorado con árbol puede ser una práctica que involucra alternativas a la fase de barbecho de la agricultura de tumba y quema.

La introducción de especies de valor tanto económico (leña, madera, frutas, y otros) como biológico (fijadores de nitrógeno, controlar malezas, etc.) han generado los llamados barbechos mejorados. Raintree y Warner (1986), clasifican los barbechos mejorados en económicamente

enriquecidos y los biológicamente enriquecidos, en el primer caso cuando se introducen árboles valiosos en el barbecho y en el segundo caso cuando las especies utilizadas ayudan a mejorar y acelerar la fertilidad del suelo.

Drechsel et al (1991), estudiaron en Togo, el efecto de cuatro especies de árboles (*Cassia siamea*, *Albizia lebbek*, *Acacia auriculiformis* y *Azadirachta indica*), sobre las propiedades químicas de suelos donde fueron plantados en barbecho, estos fueron contrastados con barbecho de pasturas. Los resultados mostraron que el efecto del barbecho sobre las propiedades químicas del suelo pueden variar de acuerdo con el árbol escogido y que el árbol más productivo no necesariamente es el mejor árbol para el suelo.

Los efectos de especies arbóreas sobre el suelo es muy variable, Montagnini y Sancho (1990), observaron que en suelos bajo *Gmelina arborea* se incrementa el contenido de Ca y P, y se registra un mayor pH que suelos bajo pino. El impacto potencial de especies arbóreas sobre el contenido de cationes y P y cambios en el pH podría ser importante en suelos tropicales que presentan baja disponibilidad de P y toxicidad de aluminio que influyen negativamente el crecimiento de los cultivos. Un efecto evidente es el que producen árboles leguminosos fijadores de nitrógeno cuando son asociados con cultivos anuales.

Los nutrientes liberados por residuos de plantas y cosechas muestran valores variables, dependiendo de la calidad del residuo (relación C:N, contenido de lignina y polifenoles), al igual que de la actividad microbiana en el suelo. Los contenidos de N, P, Ca y Mg decrecen con el tiempo en los residuos de plantas leguminosas; mientras que, en residuos de cosechas como arroz y maíz, estos son inmovilizados por más tiempo. En cuanto al potasio se encontró que en ambos casos, es liberado rápidamente (Tian et al, 1992).

#### 4.6 *Acacia mangium* en sistemas agroforestales.

Las acacias pertenecen al género *Mimosae* dentro de la familia de las leguminosas, con cerca de 800 - 900 especies ampliamente difundidas en las regiones tropicales y subtropicales. Estas crecen en todos los suelos, incluye desde pequeños arbustos hasta arboles, de los cuales solo unas 50 especies han sido cultivadas. Debido a la comodidad que produce su amplia distribución de (suelos y climas), las acacias ofrecen variadas opciones de sistemas de cultivos incluyendo agroforestería, que le dan ventajas sobre otros géneros (Fisher, 1995).

Esta especie es originaria de Australia y Papua Nueva Guinea, introducida en varios países de Asia, se desarrolla en el trópico húmedo (1500 - 3000 mm anuales de precipitación y 100 - 800 m de altitud) en suelos ácidos; la planta alcanza una altura 30 m (15 m promedio), 60 cm de diámetro; tallo erecto, su propagación es por semilla, rápido crecimiento, fijador de nitrógeno, no tolera sombra.

Generalmente es utilizado como madera y leña, protección para cuencas, contrafuegos, ornamental, alimentación del ganado y rehabilitación de suelos. Su habilidad para prosperar en un amplio rango de suelos, ha permitido su utilización para reforestación; las plantas crecen y cierran rápidamente las copas, lo que no permite la proliferación de malezas bajo los arboles (Nair, 1993).

→ La producción de mantillos en acacias ha sido poco estudiadas; sin embargo, este aspecto es de gran importancia en la biomasa total producida de arboles, siendo uno de los componentes de la productividad anual. Estudios en *A. mangium* de cuatro años de edad demostraron que la cantidad de hojarasca acumulada fue de aproximadamente 6 ton/ha (Tsai, 1992).

Adjers y Hadi (1993), realizaron ensayos agroforestales con *A. mangium* en parcelas donde había pasto *Imperata cylindrica*. Se plantaron arboles con un distanciamiento de 2 x 4 m intercalando cultivos como sandía, maíz, maní y un control sin arboles; en dos tratamientos de preparación de suelos (totalmente mecanizado y deshierba química), *A. mangium* mostró el mejor crecimiento al compararla con otros árboles como *Paraserianthes falcataria*, *Eucalyptus urophylla* y *Peronema canescens*. ←

El efecto de los árboles sobre el rendimiento mostró un decrecimiento con *A. mangium* en la parcela con maíz; sin embargo, en la parcela con maní y *A. mangium* presentó el segundo mejor rendimiento después de *P. falcataria*. Después de siete meses, aunque no es un tiempo considerable para obtener conclusiones sobre las propiedades del suelo, estas mostraron una tendencia a mejorar.

→ Halenda (1990), encontró en Sarawak para *A. mangium*, que los valores de nutrimentos acumulados en la biomasa aérea presentaban la siguiente tendencia: el nitrógeno aparece como el nutrimento más importante ( $616 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguido por el calcio ( $404 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y potasio ( $297,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ). En cuanto al magnesio y fósforo las cantidades son mucho menores,  $48,4$  y  $33,2 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Los nutrimentos liberados por el mantillo depositado sobre el suelo mantiene la misma tendencia.

En estudios realizados por Fisher (1995), seleccionó ocho especies de arboles nativos y tres exóticos, entre ellos *A. mangium*, *I. edulis*, *G. arborea*, *V. ferruginea*, para cuantificar su efecto sobre el mejoramiento de suelos degradados (Typic Tropohumult), *A. mangium* presentó el mejor crecimiento en altura (14,5 m) y diámetro (14 cm) luego de tres años de plantado.

Después de tres años de ocupar el sitio las propiedades físicas y químicas de los suelos han sido significativamente alteradas, variando los efectos según las especies. Solo dos de las especies fijadoras de nitrógeno, *I. edulis* y *A. mangium* incrementaron los contenidos de nutrimentos y mejoraron la densidad aparente del suelo en un período comprendido entre 1987 y 1992, como se observa a continuación:

**Variación en el contenido de nutrimentos y de las características del suelo a 15 cm de profundidad bajo una plantación de *A. mangium*, en tres años de ocupación del sitio (Fisher, 1995).**

Variable	1987	1992
Nitrógeno (g/kg)	3,0	3,3*
Carbono (g/kg)	0,73	0,77*
Fósforo (mg/kg ppm)	7,3	8,10*
Calcio (c mol/kg)	1,27	1,52*
Potasio (c mol/kg)	0,20	0,21
Densidad aparente (g/cc)	0,64	0,59*
pH	4,5	4,50

\* Diferencia significativa al 5% de probabilidad (Fisher, 1995)

La determinación del status de los nutrimentos en acacias y la transferencia entre sus componentes no ha sido ampliamente estudiados. Algunas investigaciones preliminares se han realizado en *A. mangium*, tratando de estimar patrones del ciclo de nutrimentos en estos se ha encontrado un exceso de nitrógeno pero menor cantidad de fósforo; sin embargo se ha observado mejoramiento en las propiedades del suelo (Tsai, 1992).

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Descripción del área de estudio.

El ensayo fue realizado en el Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad de Panamá. En terrenos ubicados en el distrito de David, corregimiento de Chiriquí, provincia de Chiriquí - Panamá. Geográficamente esta localizado en las coordenadas  $8^{\circ} 23' 40''$  de latitud norte y  $82^{\circ} 20' 03''$  de longitud oeste, con una elevación de 25 msnm. ( Fig. 1)

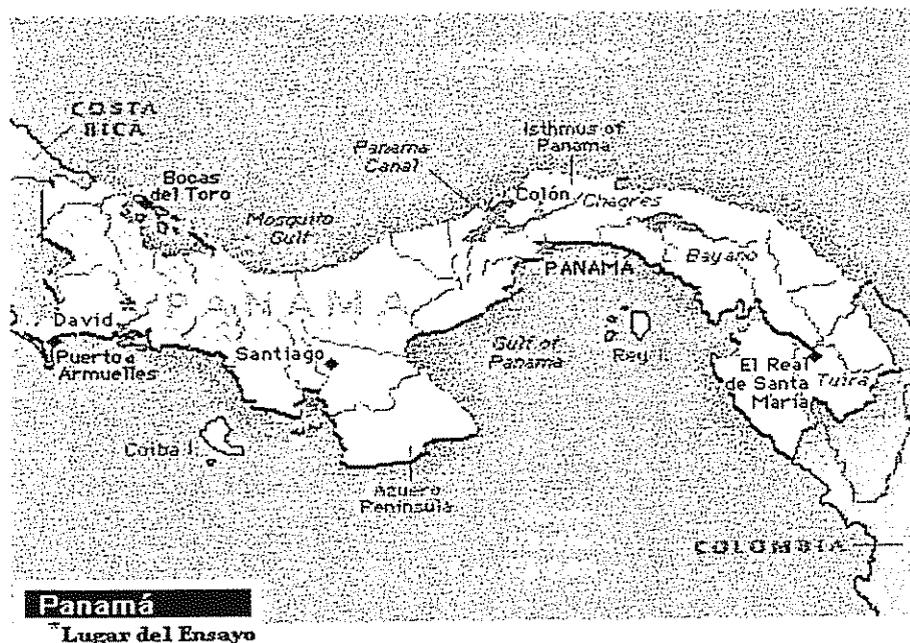


Figura 1. Localización del ensayo, Chiriquí (\*) Panamá 1997.

### 5.2 Clima.

El clima del área es isotérmico con temperatura promedio anual de  $26,5^{\circ}\text{C}$ , caracterizándose por un período de mínima precipitación entre los meses de diciembre a abril. El promedio anual es de 2.919 mm, (Fig. 2).

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987) corresponde a la formación bosque húmedo tropical basal.

### 5.3 Suelos.

Los suelos del área se caracterizan por tener una topografía plana y textura arcillosa, clasificados como Ultisoles, gran grupo Haplohumult, Sub-grupo Plinthic Haplohumult<sup>1</sup>, Estos suelos son ácidos, bien drenados, fertilidad natural baja, con un horizonte de acumulación de arcilla. Los problemas de acidez se deben al alto contenido de aluminio intercambiable, con la consecuente alta capacidad de fijación de fósforo (72%) y pobre contenido de bases intercambiables (Sánchez, 1981).

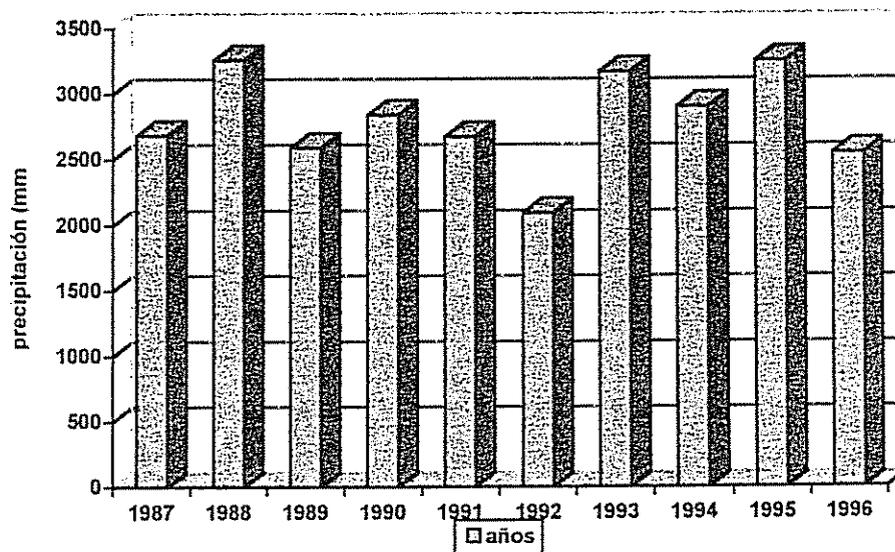


Figura 2. Promedio anual de precipitación en la FCA. Chiriquí, Panamá.

<sup>1</sup> Clasificación obtenida mediante comunicación personal de Donald Kass *Ph. D.*

## 5.4 Materiales experimentales

### 5.4.1 *Acacia mangium*

En 1991 se estableció en el Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de Panamá, una plantación de *Acacia mangium* en un área de 3.754 m<sup>2</sup> ; con el propósito de estudiar el establecimiento y crecimiento de esta especie en un suelo ácido del orden ultisol . Se practicó un encalado antes de la siembra, para neutralizar el 0, 50 y 100% de aluminio intercambiable, manteniéndose la plantación por seis años sin introducir cultivos. En octubre de 1996, la plantación fue talada, utilizándose los troncos para cerca, y estableciéndose en este lugar los tres tratamientos correspondientes al barbecho de *A. mangium*. Otro ensayo fue establecido sin árbol en octubre de 1996, para comparar la efectividad del barbecho en suplir nutrimentos a cultivos posteriores; en los tratamientos del ensayo sin árbol, se encalo el suelo 15 días antes de la siembra más la aplicación de fósforo a la siembra, cada ensayo consistió de tres tratamientos y tres repeticiones (Fig. 3)

### 5.4.2 Frijol Caupí (*Vigna sinensis*).

Para evaluar la efectividad de los dos ensayos, se utilizó una variedad criolla de frijol (*Vigna sinensis*) conocida en el área como frijol desayuno, siendo uno de los de mayor consumo por los agricultores de la zona, además de estar adaptada a suelos ácidos de baja fertilidad.

La siembra se realizó en octubre de 1996, mediante espeque, con un distanciamiento entre hileras de 0,50 m y entre planta de 0,40 m, colocando tres semillas por golpe, obteniéndose una densidad inicial de 150.000 plantas/ha. Posteriormente se practicó un raleo dejando dos plantas por golpe para obtener una población final de 100.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

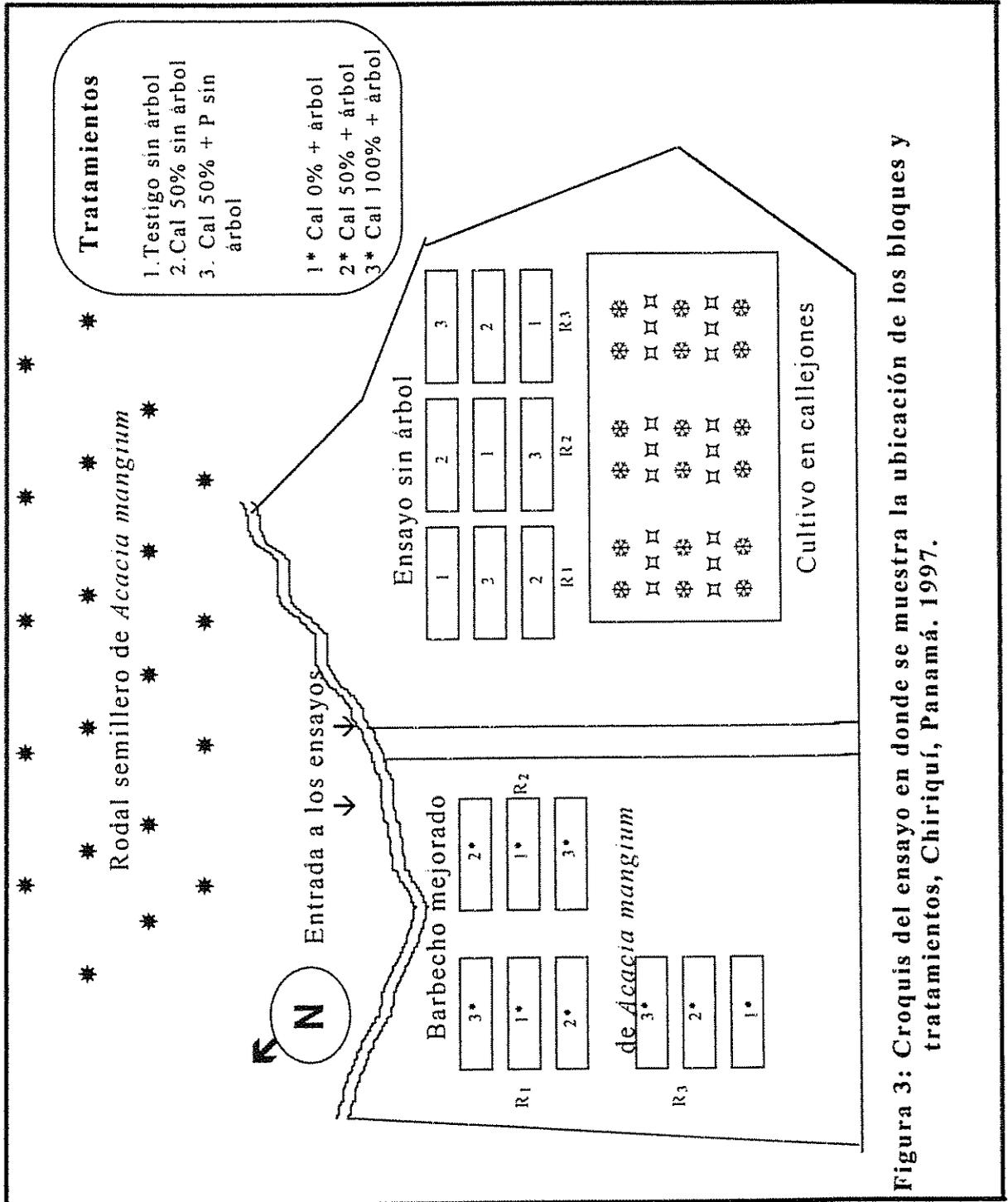


Figura 3: Croquis del ensayo en donde se muestra la ubicación de los bloques y tratamientos, Chiriquí, Panamá. 1997.

El manejo cultural (control de malezas, plagas o enfermedades) se efectuó cuando fue necesario.

## 5.5 Tratamientos

### 5.5.1 Ensayo en barbecho de *A. mangium*.

#### 1- *Acacia mangium* sin cal

Tratamiento con árboles plantados en 1991, y talados en 1996. Sin aplicación de cal ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ).

#### 2- *Acacia mangium* + cal. 50%

Al igual que el tratamiento uno, los árboles fueron plantados en 1991 y talados en 1996. Se le aplicó  $2.435 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar el 50% del aluminio intercambiable.

#### 3- *Acacia mangium* + cal 100%

Tratamiento con árboles plantados en 1991 y talados en 1996. Se le aplicó  $4.870 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar el 100% de aluminio intercambiable. El requerimiento de cal fue calculado en base al aluminio intercambiable. El requerimiento de cal fue calculado en base al aluminio determinado en el análisis de suelo, mediante la fórmula:  $\text{CaCO}_3$  equivalente (t/ha) = Factor x Al en meq/100g (Trop Soil, 1988).

### 5.5.2 Ensayo sin árbol establecido en 1996.

#### 1- Testigo / solo caupí

Representa al testigo absoluto donde no se han plantado árboles ni ha recibido enmiendas, ni fertilizantes, solo se sembró caupí (*Vigna*).

#### 2- Cal 50% sin *A. mangium*

Este tratamiento sin árboles consistió en la aplicación de  $2.435 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar el 50% de aluminio intercambiable.

### 3- Cal 50% + P sin *A. mangium*.

Al igual que el tratamiento anterior se aplicó  $2.435 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar el aluminio intercambiable, más la adición fósforo a razón de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2 \text{O}_5$ .

### 5.6 Fertilidad de suelo.

Se realizaron dos muestreos de suelo a 20 cm de profundidad. El primero antes de la aplicación de los tratamientos y siembra del cultivo y otro al final del ciclo de cultivo, tomándose 20 sub-muestras para formar una muestra compuesta por tratamiento.

El análisis de fertilidad de suelo (pH, materia orgánica, acidez, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn), se realizó siguiendo la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter (1978). El pH se determinó en agua (1:2.5), la materia orgánica por el método de Walkley y Black (Saiz del Río y Bornemiza 1962), la acidez intercambiable (H+Al) se extrajo con KCl 1N. Se realizaron curvas de sorción para determinar el porcentaje de fijación de fósforo siguiendo la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Los minerales K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn fueron extraídos con la solución de Carolina del Norte (Olsen et al 1982), y determinados por absorción atómica. El fósforo por colorimetría con molibdato de amonio y ácido ascórbico.

### 5.7 Fraccionamiento de fósforo.

Para la evaluación de las fracciones del fósforo en el suelo se realizaron dos muestreos a una profundidad de 5 cm. El primer muestreo, 30 días después de la siembra y el segundo al final del ciclo de cultivo. Las muestras se tomaron en zig-zag a lo largo de cada parcela, obteniéndose 20

sub-muestras que se mezclaron y homogenizaron para sacar una muestra representativa para cada tratamiento, la cual fue secada al aire, tamizada en malla de 0,2 mm.

En el análisis de las muestras se utilizó el método de Hedley et al (1982), con las modificaciones propuestas por Macêdo (1996). Esta metodología consiste en utilizar diferentes extractantes para estimar tanto las formas disponibles, pero también las moderadamente disponibles y recalcitrantes, tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos. La descripción metodológica para este análisis se presenta en el anexo 1.

Los autores introducen la utilización de resinas sintéticas intercambiadoras de aniones con las cuales se extraen formas de  $P_i$  biológicamente disponibles, con extractantes como bicarbonato de sodio 0,5M (pH 8,5), se obtienen formas lábiles débilmente absorbidas en la superficie de los sesquióxidos ( Bowman y Cole, 1978), al igual que compuestos cristalinos de fósforo o carbonatos, y parte del fósforo microbial. Con hidróxido de sodio 0,1M, se extraen formas moderadamente lábiles de  $P_i$  que se encuentran fuertemente adheridas, en la superficie de los compuestos de hierro y aluminio amorfos o poco cristalinos (MacLaughlin et al, 1977) El ácido clorhídrico (1N) remueve el fósforo de suelos meteorizados.

El fósforo orgánico fácilmente mineralizable, se extrae con bicarbonato de sodio 0,5M (pH 8,5); y las formas más estables, pero menos mineralizables con hidróxido de sodio 0,1M (Bowman y Cole; MacLaughlin et al, 1977). Y una extracción final con ácido sulfúrico mezclado con agua oxigenada remueve las formas más estables e insolubles de fósforo orgánico e inorgánico. El  $P_{Total}$  es determinado por digestión ácida con una mezcla

de ácido nítrico, ácido perclórico y ácido sulfúrico, en proporción 4:2:2 (Fig. 4).

## 5.8 Análisis foliar

### 5.8.1 A la Floración:

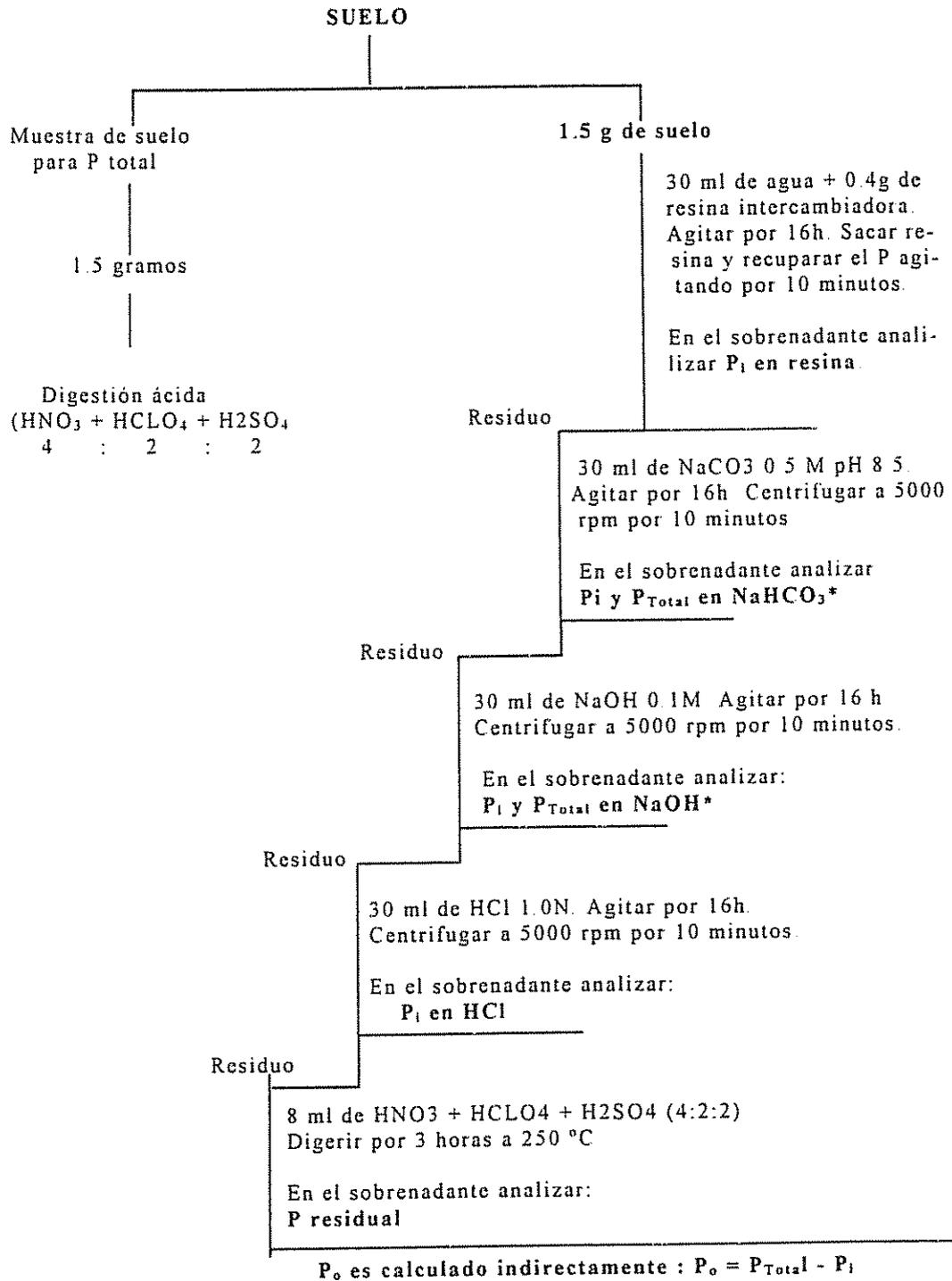
Para la evaluación del contenido de nutrimentos a la floración se realizó un muestreo al azar, escogiéndose hojas trifoliadas maduras (aproximadamente 20 hojas por tratamiento), tomando en consideración lo recomendado por Howeler (1983). Las muestras fueron lavadas y secadas en horno a 65°C hasta obtener un peso constante. Una vez secadas, se molieron e incineraron a 450°C por 12 horas, los minerales fueron extraídos con una solución de HCl 1:1 (Beaty y Kerber 1993). Estos fueron determinados por absorción atómica, el fósforo se determinó por colorimetría con molibdato - vanadato (Bateman, 1978). A estas muestras tomadas se les analizó nitrógeno por el método de Kjeldahl (Tekator, 1995), y boro por colorimetría con curcumina (Malavolta, 1989).

### 5.8.2 Madurez fisiológica.

En el muestreo a la madurez fisiológica se escogió de cada tratamiento una hilera de plantas al azar de la parcela útil (18m<sup>2</sup>), de la cual se extrajeron 10 plantas completas, dividiéndose cada planta en tallo+hojas, vainas y raíz; estos componentes fueron pesados por separado.

Se contó el número de vainas por planta. De cada tratamiento se tomó una sub-muestra para secarla en horno a 65°C por 10 días y estimar el porcentaje de materia seca. Las muestras fueron molidas y preparadas para los análisis químicos. El contenido de fósforo utilizado por la planta fue determinado con el método de molibdato - vanadato, haciendo lecturas a 470 nm (Bateman, 1978), las concentraciones en cada muestra fueron

Figura 4. Diagrama del fraccionamiento secuencial de P del suelo, modificado de Hedley et al. (1982).



estimadas mediante una ecuación de regresión resultante de los patrones de calibración utilizados.

### **5.9 Componentes del rendimiento**

Al momento de la cosecha se delimitó la parcela útil (3m x 6m) eliminándose los surcos de bordes. Posteriormente se contó el número de plantas por tratamiento. Para estimar los componentes del rendimiento se escogieron 10 plantas al azar por tratamiento en las que se evaluó lo siguiente:

- Número de vainas/planta.
- Número de semillas/vaina.
- Rendimiento

Se escogieron 10 vainas al azar de las cuales se obtuvo el número de granos por vaina. El rendimiento por parcela se calculó ajustando el peso del grano a 14% de humedad.

### **5.10 Diseño experimental**

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental estaba representada por parcelas de 5 m x 10 m; el área útil fue de 18 m<sup>2</sup>. Los tratamientos evaluados fueron descritos anteriormente.

### **5.11 Modelo Estadístico.**

El modelo correspondiente al diseño en bloques completos al azar, que a continuación se describe, fue utilizado en el análisis principal.

$$X_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + e_{ij}$$

donde:

$X_{ij}$  = Variable aleatoria observable.

$\mu$  = Media General.

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento.

$\beta_j$  = Efecto de j-ésimo bloque.

$e_{ij}$  = Variable aleatoria, independiente de  $t$  y  $\beta$ .

**Cuadro 1. Análisis de varianza correspondiente al modelo estadístico utilizado en los ensayos.**

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.
Bloques	r-1	$(\sum R_j^2/k)$ -FC	SCR/(r-1)	CMR/CME
Tratamientos	k-1	$(\sum T_i^2/r)$ -FC	SCT/(k-1)	CMT/CME
Error	$(r-1)(k-1)$	Diferencia	SCE/(r-1)(k-1)	
Total	rk-1	$\sum \sum Y_{ij}^2$ -FC		

r = número de repeticiones o bloques.

$R_j$  = total de la j-ésima replicación.

k = número de tratamientos

$T_i$  = total del i-ésimo tratamiento.

FC = Factor de corrección =  $(\sum Y_{ij})^2 / (r \cdot k)$  (Oñoro, 1996)

Cada ensayo se analizó individualmente, utilizándose análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de Duncan, igualmente se determinaron correlaciones entre las variables evaluadas, enfatizando sobre el efecto de la fertilidad del suelo en el rendimiento y en el contenido de nutrimentos foliares. Para la comparación del efecto de los tratamientos en los ensayos con árbol y sin árbol, se calcularon intervalos de confianza. Para determinar el efecto del tiempo sobre las fracciones de fósforo, se utilizó el diseño de bloques completamente al azar con parcelas divididas en el tiempo.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 Efecto de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento del frijol.

La comparación de medias de los tratamientos para componentes del rendimiento (número de plantas, vainas por 10 plantas, granos por 10 vainas y rendimiento) de ambos ensayos son presentados en el cuadro 2. Como se observa solo existió diferencia significativa ( $p < 0,01$ ), en rendimiento para el tratamiento tres sin árbol, ( $2,43 \text{ ton ha}^{-1}$  de cal +  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) con un  $r^2 = 0,97$ , siendo el tratamiento testigo sin árbol el que mostró el menor rendimiento.

**Cuadro 2. Componentes de rendimiento de los ensayos sin árbol y con árbol. Chiriquí, Panamá. 1997. (valores seguidos de la misma letra no difieren significativamente. Duncan 5%)**

Trat.	Nº plantas/ Parcela	Vainas/10 plantas		Granos/10 vainas		Rendimiento. ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
		Sin	árbol	Sin	árbol	
1	260.67 a	36.67 a	144.00 a	244.96 b		
2	277.06 a	53.00 a	158.33 a	407.22 b		
3	259.67 a	88.33 a	155.33 a	1054.12 a		
		Con		árbol		
1*	237.33 a	74.33 a	149.00 a	357.81 a		
2*	221.67 a	92.33 a	165.00 a	502.71 a		
3*	257.67 a	95.33 a	148.66 a	479.59 a		

1= Testigo sin árbol

2= Cal 50% sin árbol

3= Cal 50%+P sin árbol

1\*=Cal 0%+árbol

2\*=Cal 50%+árbol

3\*=Cal 100%+árbol

La respuesta a la aplicación de fósforo como fertilizante químico ha sido demostrada en cultivo en callejones por Macêdo (1996) y Tineo (1993), con rotaciones de maíz-frijol en sistemas de cultivo en laderas. Ellos encontraron que la aplicación de fertilizante fosfatado incrementa los rendimientos cuando es aplicado solo o cuando se asocia con enmiendas orgánicas.

En el ensayo con árbol no se encontró diferencia significativa entre tratamientos; sin embargo, el tratamiento dos (2,43 ton ha<sup>-1</sup> de cal) fue el mejor. Estos resultados concuerdan con datos recopilados por Halenda (1992) y Tsai (1992), donde indican que el fósforo es uno de los nutrientes que menos extrae la *Acacia mangium* por lo que su efecto en el rendimiento es superado por otros nutrientes como el nitrógeno, calcio y potasio.

Una de las causas que influyó en el rendimiento del ensayo con árbol lo constituyó la incidencia de plagas alojadas en el mantillo proveniente del árbol (grillo cortador y *Atta sp*), otro aspecto a considerar sobre los rendimientos para este ensayo, fue las altas precipitaciones registradas durante ese año, propiciando el ataque de hongos (*Rhizoctonia* y *Colletotrichum*), y en menor escala, bacteriosis a nivel del tallo en el cultivo, lo cual mermó el rendimiento, al reducir el número de plantas por parcela en el barbecho.

Al comparar los promedios de rendimiento de los dos ensayos (cuadro 2), se encontró que hubo respuesta a la aplicación de fertilizante fosfórico y cal (T3 - ensayo sin árbol); sin embargo, al observar los tratamientos T1 y T2 de ambos ensayos muestran rendimientos más altos para el ensayo con árbol, aunque no fueron significativos. Los incrementos fueron de 112,85 (46.3%) y 95,49 (23.5%) kg ha<sup>-1</sup> para el T1 y T2 respectivamente. Esto se puede apreciar gráficamente en la figura 5.

Los componentes de rendimiento en los dos ensayos se correlacionaron entre sí, y de igual forma con los nutrientes del suelo determinados posterior a la cosecha (anexo 2 y 3). En el ensayo con árbol el rendimiento presentó correlación positiva con el número de granos/10 vainas ( $r^2 = 0,7522$ ,  $P < 0,05$ ), es decir, existe una relación directa entre estas variables, siendo la única relación significativa para componentes de rendimiento en ensayo con barbecho de *A. mangium*, lo que nos indica que existe un aporte de algunos nutrientes al sistema, influyendo de esta manera en el número de granos.

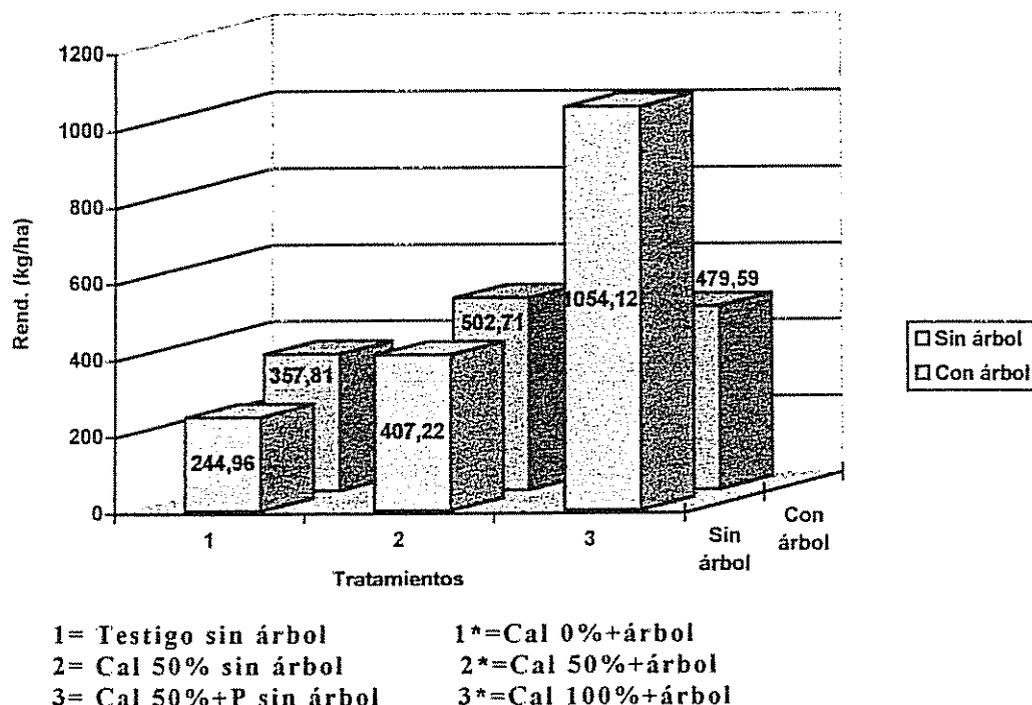


Figura 5. Rendimiento de frijol caupí. Chiriquí, Panamá. 1997.

Al analizar el ensayo sin árbol, se observan correlaciones positivas entre el número de plantas por parcela y la cantidad de granos/10 vainas, igualmente se presentó correlación para el número de vainas/10 plantas con el rendimiento, hierro y zinc ( $r = 0,6897$ ,  $0,7867$ ,  $0,7493$  y  $0,6718$   $P < 0,05$  respectivamente), además el rendimiento se incrementa cuando aumentan

los contenidos de P, Ca y Zn en el suelo ( $r^2 = 0,8152$ ,  $P < 0,01$ ;  $0,7174$  y  $0,6876$ ,  $P < 0,05$ ). Bellows (1994), encontró, igualmente correlaciones positivas entre el rendimiento de frijol y el fósforo extraído del suelo cuando se utilizaron coberturas orgánicas

La disponibilidad inmediata de P y Ca producto de la fertilización y enalado promueven una mayor absorción de estos nutrimentos por la planta. El contenido de fósforo exportado por las vainas alcanza el 63% del P absorbido por la planta; estos datos concuerdan con los encontrados por López (1996), lo que pone de manifiesto la necesidad de la aplicación de este nutrimento en estos suelos que presentan baja disponibilidad de fósforo ( $< 1.0$  ppm) y alto porcentaje de fijación (72%).

→ Si bien es cierto, el rendimiento superior se obtuvo cuando se adicionó fertilizante químico (superfosfato triple), al realizar el análisis de intervalos de confianza para ambos ensayos (anexo 4), podemos observar que el barbecho influyó en algunos componentes del rendimiento. Adjers y Hadi (1993) y Fisher (1995), encontraron resultados alentadores al utilizar sistemas agroforestales con diferentes especies arbóreas incluyendo *A. mangium*, estos resultados se manifestaron, tanto en la producción de cultivo, como en el mejoramiento de las propiedades físico - químicas del suelo. ←

El contenido de materia seca en la madurez fisiológica en vainas, tallo-hojas y raíz se presenta en el cuadro 3. Como se observa, no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados en ambos ensayos, por lo que la diferencia en producción no es el resultado de una mayor producción de biomasa en el ensayo sin árbol, sino más bien por el número de plantas por tratamiento, vainas por planta y granos por vaina.

**Cuadro 3. Porcentaje de materia seca en vainas, hoja+tallo y raíz a la madurez fisiológica, Chiriquí. Panamá 1997. (valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente. Duncan 5%).**

Sin árbol				Con árbol			
Trat.	Vainas	Hoja+tallo	Raíz	Trat.	Vainas	Hoja+tallo	Raíz
1	25,30 a	18,00 a	22,20 a	1*	29,23 a	19,13 a	23,23 a
2	28,76 a	17,63 a	23,13 a	2*	28,33 a	18,70 a	23,83 a
3	26,76 a	19,03 a	22,60 a	3*	28,93 a	18,10 a	22,36 a

1= Testigo sin árbol

2= Cal 50% sin árbol

3= Cal 50%+P sin árbol

1\*=Cal 0%+árbol

2\*=Cal 50%+árbol

3\*=Cal 100%+árbol

## 6.2 Efecto de los tratamientos sobre el contenido de fósforo y otros nutrimentos en el suelo.

El análisis estadístico realizado al fósforo y otros nutrimentos en suelo, son presentados en el cuadro 4. Los contenidos de macronutrimentos mostraron diferentes tendencias tanto en el ensayo con árbol, como en el ensayo sin árbol.

En el ensayo con árbol, para macro y micro - nutrimentos, solo mostró diferencia significativa la variable calcio contra el resto de los otros nutrimentos, no difiriendo estadísticamente los tratamientos uno y dos, pero si del tratamiento tres; siendo éste el mejor tratamiento para este ensayo.

Al comparar los promedios de la variable calcio, para el ensayo con árbol, contra los obtenidos en el ensayo sin árbol es evidente que este promedio no supera al testigo sin árbol, lo que nos indica que no existe una recirculación significativa del elemento en el sistema; esto puede deberse a una disminución de la concentración del elemento en el tiempo, debido a que la enmienda calcárea fue aplicada, antes del establecimiento de la plantación en 1991.

**Cuadro 4** Contenido de nutrimentos en el suelo, en ensayos con árbol y sin árbol. Chiriquí, Panamá 1997. (valores seguidos de la misma letra no difieren significativamente. Duncan 5%.)

Trat.	pH	M.O.	Al	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Mn	Zn
H <sub>2</sub> O % -----Cmol (+)/L -----mg/L-----											
1:2.5											
Con árbol											
1*	4,7 a	3,25 a	1,61 a	0,12 a	0,57 b	0,19 a	0,50 a	126,43 a	5,20 a	37,10 a	0,86 a
2*	4,7 a	3,52 a	1,70 a	0,09 a	0,69 b	0,16 a	0,76 a	126,73 a	5,20 a	28,33 a	1,03 a
3*	4,9 a	3,14 a	1,47 a	0,10 a	1,04 a	0,17 a	0,83 a	104,87 a	5,13 a	25,46 a	0,86 a
Sin árbol											
1	5,0 a	3,51 a	0,91 a	0,09 a	1,05 a	0,18 a	0,90 b	99,87 a	4,83 a	27,73 a	0,66 a
2	4,9 a	3,35 a	0,85 a	0,10 a	1,34 a	0,27 a	0,70 b	125,90 a	5,46 a	25,53 a	0,53 a
3	5,1 a	3,35 a	0,67 a	0,09 a	1,93 a	0,33 a	1,26 a	152,83 a	5,46 a	34,20 a	0,83 a

1= Testigo sin árbol

2= Cal 50% sin árbol

3= Cal 50%+P sin árbol

1\*=Cal 0%+árbol

2\*=Cal 50%+árbol

3\*=Cal 100%+árbol

Sin embargo, existen investigaciones que demuestran que *A. mangium* recircula calcio en diferentes sistemas en que ha sido estudiado. Tsai (1992), analizó la hojarasca producida por esta especie, encontrando que esta aportaba al sistema 8,5 kg de P/ha/año, 63,2 kg de Ca ha/año. Aguilar y Samudio (1997), aplicaron mulch de *A. mangium* a razón de 4 ton/ha de materia seca, de una plantación de seis años de establecimiento, a cultivo en callejones en Ultisoles ácidos, encontrándose que las entradas correspondieron a 4,5 kg de P/ha/año y 23 kg de Ca/ha/año.

Las correlaciones en el ensayo con árbol, para los micronutrientes (anexo 2), mostraron tendencias menos definidas, encontrándose una disminución del contenido de manganeso cuando se incrementa el nivel de encalado ( $r = -0,7102$   $P < 0,05$ ).

Para el ensayo sin árbol podemos apreciar que solo existió diferencia significativa para la variable fósforo en el tratamiento tres (2,43 ton de cal  $ha^{-1}$  + 50 kg  $ha^{-1}$   $P_2O_5$ ) con un  $r^2 = 0,92$ , no difiriendo del primer y segundo tratamiento, esto se atribuye al corto tiempo transcurrido entre el encalado, la fertilización química y la época del muestreo. Aunque el frijol extrae relativamente poca cantidad de fósforo, (Tineo, 1993; Fassbender y Bornemisza, 1987), en estos suelos el fósforo resulta limitante, y su extracción tiende a disminuir con el tiempo (Fassbender, 1993).

Estadísticamente hubo una correlación positiva altamente significativa (Anexo 3) entre el calcio y el magnesio ( $r = 0,8805$   $P < 0,01$ ), para el ensayo sin árbol. La tendencia la podemos observar en el cuadro 4, donde se encontró aumentos en la concentración de calcio y magnesio intercambiable en el suelo cuando se aplicó cal y fósforo, estos cambios a corto plazo son comunes en suelos con cargas variables como es el caso de los andisoles y ultisoles, puesto que se fomenta la disminución de bases

intercambiables, acidificando el suelo y aumentando las cargas positivas (Berstch,1995).

Al analizar los intervalos de confianza para nutrimentos en el suelo (anexo 5 y 6), observamos que los tratamientos del ensayo sin árbol obtuvieron los mejores promedios para la variable calcio, magnesio y fósforo; siendo el mejor tratamiento el tres que consistía en la adición de fósforo y enmienda calcárea; concordando con lo anteriormente indicado, para el fósforo en estos suelo (Fassbender, 1993).

Los intervalos de confianza en el sistema de barbecho de *A. mangium* presentan promedios superiores para potasio y zinc, siendo estos elementos liberados al suelo rápidamente a través de la mineralización. Estos resultados nos indican a su vez que gran parte de los nutrimentos absorbidos por el árbol están inmovilizados en la biomasa del mismo. Halenda (1989), encontró resultados similares donde indica que entre los nutrimentos que esta especie toma del suelo en mayor cantidad están: nitrógeno, calcio y potasio, mientras que en mucha menor cantidad, fósforo.

### **6.3 Contenido de fósforo y nutrimentos en hojas de frijol.**

El contenido de nutrimentos en hojas de frijol fue influenciado por la fertilización, encalado y el barbecho de *Acacia mangium*. Los niveles registrados; sin embargo, son bajos si los comparamos con los indicados por Bertsch (1995) y Samudio (1988) para frijol *Phaseolus*, con excepción de zinc, hierro, cobre y manganeso.

En el cuadro 5, observamos los resultados del análisis realizado a hojas trifoliadas de frijol *Vigna* tomadas de los ensayos. En el barbecho

**Cuadro 5** Contenido de nutrimentos en hojas de frijol, a la floración. Chiriquí, Panamá. 1997. (valores seguidos de la misma letra, no difieren significativamente. Duncan 5%)

Trat.	----- % -----									
	N	K	Ca	Mg	P	B	Fe	Cu	Mn	Zn
	----- ppm -----									
	<b>Con árbol</b>									
1*	3,34 a	1,50 a	1,39 b	0,23 a	0,10 a	13,16 a	94,54 a	9,27 a	488,20 a	32,54 a
2*	3,39 a	1,36 a	2,00 a	0,17 b	0,09 a	12,24 a	89,71 a	6,57 b	318,59 b	31,54 a
3*	3,13 a	1,43 a	2,34 a	0,17 b	0,11 a	13,88 a	97,41 a	6,82 a	259,43 c	32,57 a
	<b>Sin árbol</b>									
1	3,64 b	1,21 a	1,61 b	0,18 b	0,10 b	8,38 a	91,63 a	7,98 a	320,55 a	46,19 a
2	3,86 b	1,57 a	2,59 a	0,20 a	0,12 b	13,68 a	85,66 a	8,01 a	188,66 a	48,16 a
3	4,46 a	1,28 a	2,71 a	0,29 a	0,22 a	14,62 a	314,32 a	7,58 a	243,29 a	39,86 a

1= Testigo sin árbol                    1\*=Cal 0%+árbol  
 2= Cal 50% sin árbol                2\*=Cal 50%+árbol  
 3= Cal 50%+P sin árbol            3\*=Cal 100%+árbol

de *A. mangium*, existió diferencia estadísticamente significativa para calcio, magnesio, cobre y manganeso; los niveles de fósforo no presentan significancia para tratamientos, registrando concentraciones por debajo del nivel crítico, esto se debe a la baja disponibilidad del elemento en el suelo y la poca absorción y recirculación por el árbol.

Considerando que el árbol de *A mangium*, es una leguminosa fijadora de nitrógeno, los niveles de este elemento encontrado en folíolos de frijol (3,39% - T-2), son considerados bajos para la fase de inicio de floración del cultivo (Howeler 1983), por otro lado para el elemento calcio, los tratamiento 2 y 3 no difieren entre si, pero si del testigo (árbol + 0% de cal), mostrando la necesidad de aplicar una enmienda calcárea para este suelo; en el caso del magnesio el testigo difirió estadísticamente del resto de los tratamientos, existiendo un reemplazo del calcio por el magnesio; en este sentido Bertsch (1995), nos indica que al encalar con productos exclusivamente calcáreos se induce al desequilibrio entre estos dos elementos.

En lo referente a micronutrientes se encontraron altas concentraciones de manganeso en las hojas de frijol (260 - 490  $\mu\text{g/g}$ ); mostrando diferencia altamente significativa entre tratamientos, se observó una marcada disminución de Mn cuando se aplicó enmienda calcárea. Estudios realizados por Aguilar y Samudio (1997) y Tsai (1992), indican que el árbol de *A. mangium* recicla una cantidad significativa de manganeso. Esto puede ser importante si consideramos que estos suelos son ácidos y el manganeso puede acrecentar esta condición a través del tiempo, lo cual puede causar problemas por toxicidad a cultivos posteriores, siendo comprobado mediante análisis foliar (cuadro. 6), de hojarasca y follaje fresco *A. mangium* procedente del barbecho donde podemos apreciar contenidos altos de manganeso.

Sánchez (1981), indica que una de las causas de baja fertilidad en suelos ácidos es la toxicidad por manganeso. Para cobre aunque presento significancia no hubo una tendencia definida, para el resto de los micronutrientes no se registraron diferencias significativas. Las correlaciones entre rendimientos y nutrientes foliares en el ensayo con árbol nos presenta valores negativos entre calcio y magnesio ( $r = -0,7908$   $P < 0,05$ ), lo que puede ser el resultado de un desequilibrio entre estos nutrientes Bertsch (1995), dando como resultado que al aumentar la absorción de calcio disminuye el magnesio foliar. La aplicación de calcio al suelo y su posterior reciclaje por el árbol (tratamientos con cal) provocó una disminución significativa en las concentraciones de manganeso en el follaje del frijol reflejándose en correlaciones negativas ( $r = -0,8710$   $P < 0,01$ ), altamente significativas (anexo 7)

Para el ensayo sin árbol, la aplicación de fósforo y cal influyó positivamente en las concentraciones foliares, obteniéndose diferencias significativas (cuadro 5 ) para fósforo, calcio, nitrógeno y magnesio.

Las concentraciones de fósforo foliares en el tratamiento 3 (2,34 ton/ha de cal + 50 kg/ha de  $P_2O_5$ ), pueden considerarse como normales para el frijol. Trabajos realizados por Ruiz (1991), en ultisoles de la Amazonia, concluyó que la sostenibilidad de los sistemas agroforestales en el trópico, demanda de la aplicación de fertilizantes fosfórico, especialmente en cultivos anuales, ya que la cantidad de fósforo reciclado por los árboles no compensa la cantidad removida por los cultivos. Por otro lado Tsai (1992), encontró una marcada correlación ( $r^2 0,828$ ), entre el P disponible en el suelo y los niveles de fósforo foliares de *Acacia mangium*.

En lo referente a micronutrientes, es notable la disminución del contenido de manganeso, si lo comparamos con el ensayo con árbol; esto

pone de manifiesto que *A. mangium* puede constituir un problema a otros cultivos, al extraer altas concentraciones de manganeso. Para los otros micronutrientes no se observaron variaciones significativas.

**Cuadro 6. Resultados de análisis foliar de follaje fresco y hojarasca de *A. mangium*, provenientes del barbecho. 1997.**

Nutriente	Follaje fresco	Hojarasca
Nitrógeno (%)	2,14	1,64
Fósforo (%)	0,08	0,04
Potasio (%)	0,62	0,05
Calcio (%)	1,04	1,21
Magnesio (%)	0,15	0,12
Boro (ppm)	4,45	13,14
Hierro (ppm)	683,7	1410,79
Cobre (ppm)	10,54	15,06
Manganeso (ppm)	366,69	350,49
Zinc (ppm)	13,11	16,48

Al adicionar fósforo y cal observamos interacciones que se reflejan en las correlaciones positivas (anexo 8), la aplicación de fertilización fosfórica incremento la absorción de calcio, magnesio, nitrógeno y hierro del frijol, lo que influyó en el rendimiento del cultivo.

Al realizar intervalos de confianza para ambos ensayos ( Anexos 9 y 10 ), se puede observar que para las variables calcio, magnesio, nitrógeno y fósforo el tratamiento T-3 y T-2 sin árbol resultaron los mejores lo que nos indica, como se ha citado anteriormente la necesidad de aplicar enmiendas

calcáreas, más la adición de una fuente fosfatada en este tipo de suelos. La aplicación de fósforo promueve en el ensayo sin árbol un aumento en las concentraciones de nitrógeno foliar; debido a que el fósforo participa activamente en la fijación simbiótica del nitrógeno.

#### **6.4 Distribución del fósforo y nutrimentos en la planta a la madurez fisiológica.**

La distribución porcentual de fósforo en frijol a la madurez fisiológica para ambos ensayos, se presenta en la figura 6, aquí observamos que en promedio, el 63% se localizaba en las vainas; en hoja-tallo, 22% y raíz, 15%. Esto es importante, debido a que representa una salida del elemento en el sistema, producto del manejo cultural del frijol. López (1996), encontró para un sistema en cultivo en callejones utilizando coberturas orgánicas, valores de 65% de P en las vainas, 30% en hoja-tallo y 5% en raíz, en un suelo Acrudoxic Melanudand en Turrialba, Costa Rica.

En el caso del calcio el porcentaje mayor (67%), se localiza en hoja-tallo, al igual que el 65% de manganeso y el 47% de potasio, estos son recirculados en el sistema; ya que, los residuos de cosecha son dejados en el campo. En la raíz se localiza la mayor cantidad de hierro y cobre llegando a porcentajes, promedios para los dos ensayos, de 85% y 48% respectivamente. (anexo 9).

#### **6.5 Efecto de los tratamientos sobre las fracciones de fósforo en el suelo.**

El efecto de los tratamientos sobre las formas de fósforo, para los dos muestreos realizados, en el ensayo con árbol y sin árbol se presentan en los cuadros 7 y 8. Al comparar los valores obtenidos de  $P_{\text{Total}}$  producto de la suma de las fracciones, no se registra diferencia significativa entre épocas

de muestreo, sin embargo es evidente la disminución de esta fracción en el segundo muestreo debido a la exportación de P del sistema por el cultivo; existiendo en el primer muestreo un incremento en la disponibilidad de fósforo en algunos tratamientos por el ingreso al sistema del elemento en forma de fertilización fosfórica y mineralización de la materia orgánica proveniente del barbecho (Fassbender, 1993).

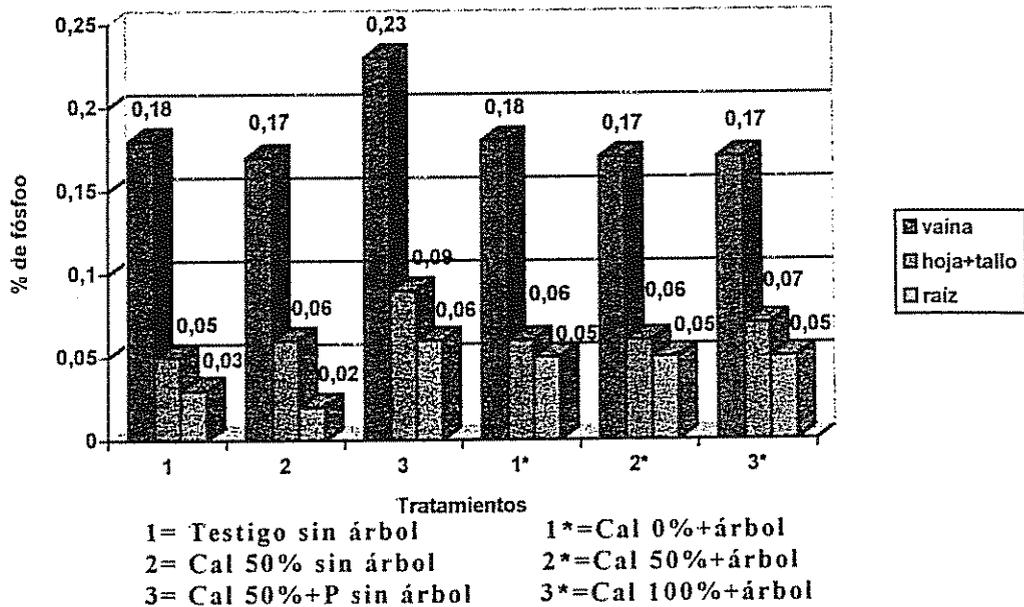


Figura 6. Contenido de fósforo en la planta, por tratamiento, a la madurez fisiológica. Chiriquí, Panamá. 1997.

La mayor cantidad de  $P_{\text{Total}}$  extraído (369,12 ppm) se observa en el primer muestreo para el tratamiento dos con (árbol+2,43 ton/ha de cal), lo que nos indica que la adición de la enmienda calcárea contribuyó a la neutralización del Al (Sánchez, 1981), permitiendo de esta manera la extracción del P por el árbol y posteriormente siendo aprovechado por el cultivo. Por otro lado observamos que en el tratamiento tres sin árbol (2,43 ton/ha de cal + 50 kg  $P_2O_5$ /ha), que obtuvo el mejor rendimiento, se extrajo menor cantidad de  $P_{\text{Total}}$ , esto se puede deber a que hubo una mayor fijación

de P cuando se aplicó fertilizante químico, dando como resultado la acumulación de fósforo en la fracción residual (Barrow, 1980).

**Cuadro 7. Contenido de fósforo en las fracciones y P total de las muestras de suelo, primer muestreo. Chiriquí, Panamá. 1997.**

FRACCIONES DE FÓSFORO	TRATAMIENTOS					
	sin árbol			con árbol		
	1	2	3	1*	2*	3*
Pi resina	0,42 a	0,27 a	0,44 a	0,27 a	0,33 a	0,42 a
Pi NaHCO <sub>3</sub>	3,15 a	2,93 a	3,70 a	2,91 a	3,37 a	2,37 a
Pi NaOH	32,67 b	32,43 b	44,57 a	39,43 a	37,80 a	38,97 a
Pi HCl	0,95 a	1,02 a	1,19 a	0,57 a	0,71 a	0,89 a
Po NaHCO <sub>3</sub>	34,08 a	38,74 a	42,16 a	34,89 a	30,83 a	33,70 a
Po NaOH	153,67 a	144,57 a	150,43 a	140,57 b	167,53 a	130,70b
P Residual	103,59 a	107,71 a	111,41 a	96,55 a	128,56 a	155,23 a
P Total	328,53 a	327,66 a	353,89 a	315,19 a	369,12 a	362,27 a

(valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente. Duncan 5%)

1= Testigo sin árbol

2= Cal 50% sin árbol

3= Cal 50%+P sin árbol

1\*=Cal 0%+árbol

2\*=Cal 50%+árbol

3\*=Cal 100%+árbol

La distribución del P en las fracciones se discutirá agrupándolas en formas lábiles ( Pi resina + Pi NaHCO<sub>3</sub> ); moderadamente lábiles ( Pi NaOH + Pi HCl ) y fracciones orgánicas lábiles (Po NaHCO<sub>3</sub>+ Po NaOH ), según lo indicado por Paniagua, (1992). El efecto de los tratamientos en las fracciones inorgánicas lábiles, no muestra diferencias significativas para ninguno de los dos ensayos, sin embargo al comparar el primer muestreo contra el segundo observamos que los valores de Pi en resina tienden a ser más altos en el segundo muestreo para casi todos los tratamientos. En estudios realizados por Paniagua, (1992) se encontró que el Pi-resina

aumenta con el tiempo, sobre todo en tratamientos con fertilización y adiciones orgánicas.

**Cuadro 8. Contenido de fósforo en las fracciones y P total de las muestras de suelo, segundo muestreo. Chiriquí, Panamá. 1997.**

FRACCIONES DE FÓSFORO	TRATAMIENTOS					
	sin árbol			con árbol		
	1	2	3	1*	2*	3*
Pi resina	0,38 a	0,45 a	0,71 a	0,38 a	0,37 a	0,44 a
Pi NaHCO <sub>3</sub>	2,13 a	1,55 a	3,17 a	1,93 a	1,38 a	1,55 a
Pi NaOH	28,90 a	30,10 a	38,03 a	34,30 a	33,13 a	21,70 a
Pi HCl	1,11 a	1,09 a	1,18 a	0,67 a	0,74 a	0,77 a
Po NaHCO <sub>3</sub>	32,50 a	34,32 a	35,89 a	35,46 a	30,03 a	35,34 a
Po NaOH	99,42 a	94,90 a	87,97 b	105,03 a	112,87 a	108,17 a
P Residual	154,57 a	146,57 a	183,23 a	132,33 a	162,67 a	143,66 a
P Total	319,00 a	308,95 a	350,19 a	310,10 a	341,18 a	311,63 a

(valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente Duncan 5%)

1= Testigo sin árbol

2= Cal 50% sin árbol

3= Cal 50%+P sin árbol

1\*=Cal 0%+árbol

2\* =Cal 50%+árbol

3\*=Cal 100%+árbol

Estos resultados nos indican, que a pesar de que existió una extracción de P durante la fase del cultivo este es liberado de otras fracciones, como es el caso de Pi NaHCO<sub>3</sub>, que registró valores menores en el segundo muestreo para los dos ensayos, esto se debe a que el fósforo extraído por resinas (generalmente P en solución) no es suficiente para cubrir las demandas del cultivo y se libera fósforo de otras fracciones menos lábiles. Aunque estadísticamente no existió diferencia, la mayor disponibilidad de fósforo lábil para el cultivo se obtuvo en la fracción de Pi NaHCO<sub>3</sub>, en el primer muestreo para el tratamiento tres sin árbol (2,43

ton/ha de cal + 50 kg /ha de  $P_2O_5$ ), lo que se esperaba ya que existió un ingreso al sistema de P por la adición de fertilizante químico.

Al agrupar las fracciones de Pi moderadamente lábil (Pi NaOH + Pi HCl ), se ve diferencia significativa en la fracción de Pi NaOH para el primer muestreo (T-3 sin árbol, 2,43 ton/ha de cal + 50 kg/ha  $P_2O_5$ ), al igual que en las fracciones más lábiles, este tratamiento al estar asociado con fertilización fosfórica, tiende a presentar mayores contenidos de fósforo en estas fracciones, sin embargo al comparar el primero y segundo muestreo, de los ensayos con y sin árbol observamos que el ensayo con árbol realiza un mayor aporte constante de nutrimentos al sistema independientemente del tratamiento.

La adición fósforo y cal en estos tratamientos, contribuyó a la liberación de P inorgánico, haciéndolo disponible para el cultivo, primariamente en las fracciones más lábiles (Pi resina y Pi  $NaHCO_3$ ), siendo esta extracción compensada por los aportes de las fracciones moderadamente lábiles (Pi NaOH y Pi HCl) que representan formas de P retenidas en compuestos de Fe y Al absorbidos en la superficie de arcillas (Hedley et al, 1982; Bowman y Cole, 1978).

El efecto de los tratamientos en la fracción orgánica (Po  $NaHCO_3$  y Po NaOH), se manifiesta en una disminución con el tiempo para ambos ensayos, siendo mayor los valores para el primer muestreo en todos los tratamientos. El análisis estadístico nos muestra, diferencia significativa para Po NaOH en el primer muestreo entre el tratamiento dos con árbol (árbol + 2,34 ton/ha de cal) y los restantes. Al comparar el primer y segundo muestreo con árbol encontramos que existió una acumulación de Po producto del barbecho de *A. mangium* (6 años), dando como resultado en bajas concentraciones en las fracciones lábiles, resultados similares fueron

encontrados por Anderson (1980). En el período de cultivo el contenido de  $P_o$  disminuyó, pasando a las fracciones inorgánicas.

Para el fósforo residual no hubo diferencia significativa entre tratamientos para los dos ensayos, mostrando una tendencia a aumentar con el tiempo, aumentando de 34% en el primer muestreo a 47% para el segundo muestreo, lo que nos indica que existen formas de fósforo que van sumándose a las fracciones recalcitrantes de muy poca solubilidad y disponibilidad. Paniagua (1992) y Macêdo (1996), encontraron que estas fracción representaban un 38% y 60% del  $P_{total}$ , el cual debe corresponder a una mezcla de  $P$  ocluido cubierto con sesquióxidos  $P_i$  incluido dentro de minerales y  $P_o$  muy estables. En este sentido Barrow (1980), encontró que cuando se aplica solo abono fosfatado, el fósforo mineral que no es aprovechado por las plantas se acumula en la fracción residual.

Los resultados encontrados en este ensayo, indican que el fósforo en las fracciones lábiles en este suelo pasan rápidamente a fracciones recalcitrantes que no son fácilmente extraídas por la planta. Los aumentos de fósforo en las fracciones lábiles, resultado de la aplicación de cal y fósforo no fueron significativos ni duraderos, indicando la dificultad en incrementar el fósforo disponible para la producción de las plantas.

#### **6.6 Efecto del tiempo sobre los contenidos de P de las fracciones.**

El efecto de el tiempo, sobre las variaciones de los contenidos de fósforo en las fracciones se puede observar en el cuadro 9 y figuras 7 y 8. El análisis estadístico nos muestra diferencia significativa entre primer y segundo muestreo, para las fracciones lábiles de  $P_i$  en bicarbonato de sodio para los dos ensayos. El ensayo sin árbol obtuvo el mayor promedio (3,26 ppm en  $P_i NaHCO_3$ ), en el primer muestreo; igual tendencia mostró el

ensayo con árbol con un promedio de (2,88 ppm en  $P_i NaHCO_3$ ) para la misma época de muestreo.

**Cuadro 9. Variación en el contenido de P de las fracciones y P Total de los tratamientos evaluados, en función de la época de muestreo.**

FRACCIONES DE FÓSFORO	EPOCAS DE MUESTREO			
	SIN ÁRBOL		CON ÁRBOL	
	Nov. 1996	Ene. 1997	Nov. 1996	Ene. 1997
Pi resina	0,38 a	0,51 a	0,34 a	0,39 a
Pi $NaHCO_3$	3,26 a	2,28 b	2,88 a	1,62 b
Pi NaOH	36,56 a	32,34 a	38,73 a	29,71 a
Pi HCl	1,05 a	1,13 a	0,72 a	3,77 a
Po $NaHCO_3$	38,33 a	34,24 a	33,14 a	46,98 a
Po NaOH	149,56 a	94,09 b	146,27 a	98,36 b
P Residual	107,57 a	161,44 b	126,78 a	132,86 a
P Total	336,70 a	326,04 a	348,87 a	308,02 a

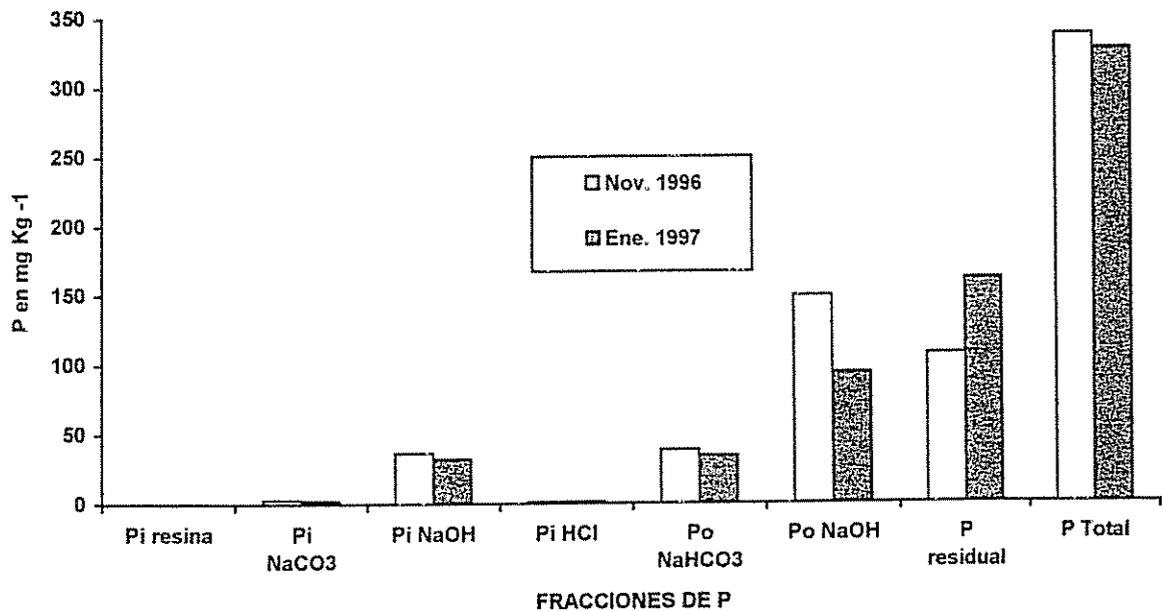
(valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente Duncan 5%)

La aplicación de fertilización química acompañado de la enmienda calcárea, contribuyó a la disponibilidad de fósforo en la solución del suelo y por ende en las fracciones lábiles, actuando como fuente y disminuyendo con el tiempo debido a la extracción por el cultivo. En el ensayo con árbol, muestra igual comportamiento para el primer muestreo, con un promedio inferior que el del ensayo sin árbol, lo que pone de manifiesto el requerimiento de P en estos sistemas.

En la fracción de Po en NaOH, observamos igual tendencia que en el caso anterior para los dos ensayos, existiendo diferencia significativa, debido a un mayor contenido de Po en el primer muestreo disminuyendo con

el tiempo, en el ensayo sin árbol, es debido al aporte de la fertilización química. En el ensayo con árbol el Po es atribuible a la materia orgánica acumulada en barbecho de 6 años, pero con una mineralización lenta. La extracción de fósforo por el cultivo de las fracciones lábiles, promueve la transformación de P de fracciones orgánicas a fracciones inorgánicas, dando como resultado una disminución del P-orgánico con el tiempo.

El efecto del tiempo sobre las fracciones de fósforo es evidente en el  $P_{\text{residual}}$  resultando significativo solo para el ensayo sin árbol, mostrando una tendencia a aumentar con el tiempo indicativo de que existen formas de P que se suman a fracciones de muy baja solubilidad.



**Figura 7. Distribución de las fracciones de P para dos épocas de muestreo. Ensayo sin árbol.**

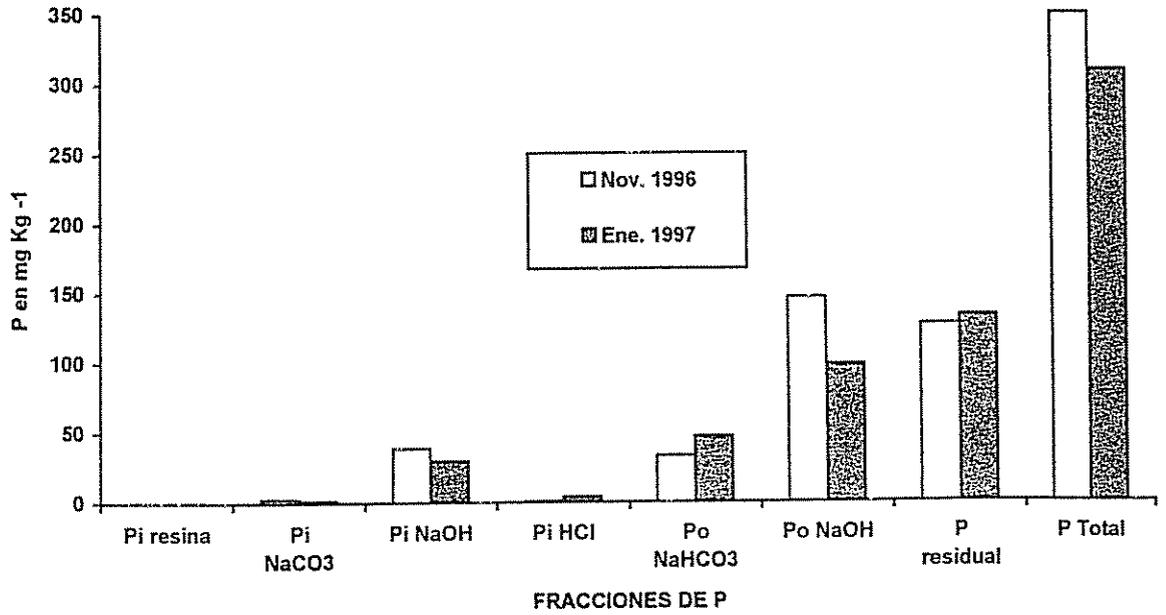


Figura 8. Distribución de las fracciones de P para dos épocas de muestreo. Ensayo con árbol.

## 7. CONCLUSIONES

- La *Acacia mangium* recicla altas cantidades de manganeso reflejándose en el contenido de nutrimentos foliar del frijol caupí, influyendo en el rendimiento.
- La capacidad de *A. mangium* en mejorar suelos ácidos, es limitada aunque se aplique cal al momento de la siembra; ya que, propiedades químicas como el pH y el nivel de acidez intercambiable no mejoraron después de 6 años de plantada. Esto puede representar problemas a cultivos subsecuentes y se recomienda aplicar cal antes y después de plantada la acacia.
- El barbecho de *A. mangium* no suministró niveles satisfactorios de macronutrimentos, para el frijol caupí, registrándose solo niveles altos para nitrógeno y fósforo en el ensayo sin árbol.
- La enmienda cálcarea en el suelo aumentó la disponibilidad de fósforo y disminuyó el contenido de manganeso en el sistema de barbecho mejorado.
- Al estimar las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo, encontramos que el sistema de barbecho aporta al fósforo total un porcentaje mayor de fósforo orgánico que en el ensayo sin árbol; mientras que en las fracciones inorgánicas son similares para ambos ensayos. La fracción de P-orgánico en estos suelos, altamente fijadores, es de gran importancia por que actúa como depósito del P recirculado.

- El mayor rendimiento de caupí se obtuvo, en ausencia de árbol, aplicando cal y fósforo al suelo al momento de la siembra.
- La producción de materia seca fue similar en ambos ensayos, indicándonos que no hubo efecto de los tratamientos en el desarrollo del cultivo, pero si en algunos componentes del rendimiento, entre ellos el número de plantas. En este aspecto se registró mayor ataque de enfermedades fungosas y plagas en el sistema de barbecho, lo que afectó el número final de plantas en la parcela útil.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- ADJERS, G.; HADI, T.S.** 1993. Acacias in forestry. *In* Acacias for rural, industrial, and environmental development: proceeding. Eds. K Awang and D Taylor. Bangkok, Tailandia, Winrock International/FAO. p.134 - 143.
- AGUILAR, N.; SAMUDIO, A.** 1997 Efecto del cultivo en callejones de *Erythrina fusca* y la aplicación de mulch de *Acacia mangium* en la producción de yuca y otoo en un suelo ácido. VII. Congreso Científico Agropecuario. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. 2-4 de julio de 1997. 17 p.
- ALEXANDER, M.** 1981. Introducción a la microbiología del suelo. Trad. por Juan José Peña. México, D.F, Libros y Editoriales. 491 p.
- ANDERSON, G.** 1980. Assessing organic phosphorus in soil. *In*. Khasawneh, F.E; Sample, E.C; Kamprath, E.J. (eds). The role of phosphorus in agriculture. Wisconsin, EE. UU, ASSA/CSSA/SSSA p 411-431.
- ASCON-AGUILAR, C.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; FARDEAU, J.C.** 1986. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria on growth and nutrition of soybean in neutral-calcareous soil amended with  $^{32}\text{P}^{-45}$  Ca-tricalcium phosphate. Plant and Soil (EE.UU.) 96:3-15.
- BARROW, N.J.** 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. *In*. Khasawneh, F.E; Sample, E.C; Kamprath, E.J (eds). The role of phosphorus in agriculture. Wisconsin, EE.UU, ASSA/CSSA/SSSA. p 333-359.
- BATEMAN, J.V.** 1978. Nutrición animal: Manual de métodos analíticos. México, Herrero. p 289-291.

- BEATY, R.D.; KERBER, J.D.** 1993. Concepts, instrumentation and techniques in atomic absorption spectrophotometry. Norwalk, CT, U.S.A. Perkin - Elmer Corporation. 77 p.
- BEER, J.; FASSBENDER, H.W.; HEUVELDOP, J.** 1989. Avances en la investigación agroforestal. Memoria de seminario, Turrialba, 1985. Turrialba, Costa Rica, CATIE/GTZ. 451 p.
- BELLOWS, B.C.** 1994. Frijol tapado, frijol a espeque y labranza cero: una comparación socioeconómica y agroecológica de los métodos de producción de frijol en Costa Rica. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas; sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. D. Thurston; G. Abawi; S. Kearl. Ithaca, N.Y., CATIE/CIFAD. p. 123-136.
- BERTSCH, F.** 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 164 p.
- BORIE, F.; BAREA, J.M.** 1981. Ciclo del fósforo. 1. Formas del elemento en los suelos y su disponibilidad para las plantas y microorganismos. Anales de Edafología y Agrobiología (España) 40:2351-2364.
- \_\_\_\_\_ ; **BAREA, J.M.** 1981. Ciclo del fósforo. 2. Papel de los microorganismos y su repercusión en nutrición vegetal. Anales de Edafología y Agrobiología (España) 40:2365-2381.
- BORNEMISZA, E.** 1966. El fósforo orgánico en suelos tropicales. Turrialba (Costa Rica) 16:33-38.
- \_\_\_\_\_ ; **IGUE, K.** 1967. Comparison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rica soils. Soil Science (EE.UU). 103(5):347-353.

- BOWMAN, R.; COLE, C.** 1978. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science (EE.UU)* 125(2):95-101.
- \_\_\_\_\_ ; **COLE, C.** 1978. Transformations of organic phosphorus substrates in soils evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Science (EE.UU)* 125(1):49-54.
- BROOKES, P.; POWLSON, D.; JENKINSON, D.** 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry (U.K)* 14:319-329.
- \_\_\_\_\_ ; **POWLSON, D.; JENKINSON, D.** 1984. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry (U.K)* 16:169-175.
- CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.; PAUL, E.A.** 1981. Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon addition on the microbial uptake of phosphorus in soil. *Canadian Journal of Soil Science* 61(2):373-385.
- CHIDUMAYO, E.N.** 1988. Integration and role of planted trees in a bush fallow cultivation system in central Zambia. *Agroforestry Systems (Netherlands)* 7:63-76.
- CLAUDE, N.** 1988. Managing soil acidity. *Groundworks 1. First Tropsoil workshop on soil acidity and liming, University of Hawaii, may 16-20 1988.* 28 p.
- DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A.** 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- DRECHSEL, P.; GLASER, B.; ZECH, W.** 1991. Effect of four multipurpose tree species on soil amelioration during tree fallow in Central Togo. *Agroforestry Systems (Netherlands)* 16:193-202.

**FASSBENDER, H.W.** 1975. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, C.R, 398 p.

\_\_\_\_\_ ; **BORNEMISZA, E.** 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. rev. San José, Costa Rica, IICA. 212 p.

**FASSBENDER, H.W.** 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 491 p.

**FISHER, R.F.** 1995. Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. Soil Science Society America Journal (EE.UU) 46(5):970-976.

**HALEND, C.** 1989. Nutrient content of *Acacia mangium* plantation. Nitrogen Fixing Tree Research Report (EE.UU) 7:46-48.

**HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.; CHAUHAN, B.S.** 1982. Changes in inorganic, and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Science Society of America Journal (EE.UU) 46(5):970-976.

**HOLDRIGE, L.R.** 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA, Costa Rica. 216 p.

**HOWELER, R.H.** 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Cali, Colombia, CIAT. 28p.

**ILLMER, P., SCHINNER, F.** 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates-solubilization mechanisms. Soil Biology and Biochemistry (U.K) 27(3):257-263.

\_\_\_\_\_, **SCHINNER, F.** 1992. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. Soil Biology and Biochemistry (U.K) 24(4):389-395.

**JAYACHANDRAN, K; SCHWAB, A.P.; HETRICK, B.A.D.** 1992. Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Biology and Biochemistry (U.K) 24(9):897-903.

- JONER, E.J.; JAKOBSEN, I.** 1995. Growth and extracelular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. (Gran Bretaña). Vol 27(9):1153-1159.
- \_\_\_\_\_; **MAGID, J.; GAHOONIA, T.S., JAKOBSEN, I.** 1995. P depletion and activity of phsphatases in the rhizosphere of mycorrhizal and non-mycorrhizal cucumber (*Cucumis sativus* L) *Soil Biology and Biochemistry* (U.K) 27(9):1145-1151.
- JONHSON, J.; MAGARIÑOS, E.** 1995. Alternativas para la integración de los sistemas agroforestales con manejo forestal. Santa Cruz, Bolivia. CIAT/MBAT. 37p. Informe Técnico n°23.
- KASS, D; FOLETTI, C.; SZOTT, L.T.; LANDAVERDE, R.; NOLASCO, R.** 1994. Sistemas tradicionales de barbecho de las américas. *In* Agroforestería en Desarrollo. Educación, Investigación y Extensión. Eds. L. Krishnamurthy y J.A. Leos-Rodríguez. Chapingo, México, p 110-125.
- KROPP, B.; LANGLOIS, C-G.** 1990. Ectomycorrhizae in reforestation. *Canadian Journal of Forest Research*. 20:438-451.
- KUCEY, R.M.N.; JANSEN, H.H.; LEGGETT, M.E.** 1989. Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. *Advances in Agronomy* (EE:UU) 42: 199-228.
- LAVELLE, B.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LOPEZ-HERANDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSSAARD, L.** 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *In* The biological management of tropical soil fertility. Ed. P.L. Woormer and M.J. Swift. United Kingdom, J. Wiley. p 137-170.
- LOPEZ, F.L.** 1996. Comparación de la dinámica de fósforo en cultivo en callejones y coberturas orgánicas para frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en San Juan Sur, Turrilaba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 101 p.

- LOPEZ ARANA, M.** 1960. Valoración de las formas de fósforo, orgánica e inorgánica, de un suelo de la zona cafetalera de Colombia. *Cenicafe (Col.)* 11(1):189-204.
- LOPEZ-HERNANDEZ, D.** 1977. La química del fósforo en suelos ácidos. Caracas, Universidad Central de Venezuela. 123 p.
- MACÊDO, J.L.V.** 1996. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas de origen animal y vegetal sobre las formas y disponibilidad de fósforo en el suelo en un sistema de cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 54 p.
- McLAUGHLIN, J.R.; RYDEN, J.C.; SYERS, J.K.** 1977. Development and evaluation of a kinetic model to describe phosphate sorption by hydrous ferric oxide gel. *Geoderma (Netherlands)* 18(4):295-307.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S.A.** 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. Piracicaba-SP, Brasil. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201 p.
- MOLINA, E.; BORNEMISZA, E.; SANCHO, F.; KASS, D.** 1991. Soil aluminium and iron fractions and their relationships with P immobilization and other soil properties in andisols of Costa Rica and Panama. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 22(13-14): 1459-1476.
- MONTAGNINI, F.; SANCHO, F.** 1990. Influencia de seis especies de arboles nativos sobre la fertilidad del suelo en una plantación experimental en la llanura del atlántico de Costa Rica. *Yuyraretá (Argentina)* 1(1): 29-51.
- \_\_\_\_\_. 1992. Sistemas agroforestales. principios y aplicaciones en los trópicos. San José, Costa Rica, OET/CATIE. 622 p.

- MURPHY, J.; RILEY, J.P.** 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* (Netherlands) 27(1):31-36.
- NAIR, P.K.** 1993. An introduction to agroforestry. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 498 p.
- OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E.** 1982. Phosphorus. *In* Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. 2ed. Ed by. R.C. Dinauer, K.E. Gates. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p 403-430. (Agronomy. series nº9).
- PANIAGUA, A.M.** 1992. Metodología de fraccionamiento de fósforo del suelo, en un sistema de cultivo en callejones, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E.** 1996. Soil microbiology and biochemistry. (EE:UU) Academic Press. 340 p.
- PRIMAVERI, A.M.** 1980. Manejo ecológico del suelo. 5de. España, Librería Ateneo Editorial. 498 p.
- RAINTREE, J.B.; WARNER, K.** 1986. Agroforestry pathways for intensification of shifting agriculture. *Agroforestry Systems* (Netherlands) 4:39-54.
- RUIZ, P.** 1991. Phosphorous fertilizar: an essential input to sustain agroforestry systems. *Bettters Crops International* 7 (1):8-11.
- SAIZ DEL RIO, J.F.; BORNEMISZA, E.** 1962. Análisis químico de suelos. Métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. 2ed. Turrialba, Costa Rica, IICA-CTEI. 107 p.
- SAMUDIO, A.** 1988. Requerimiento externo de tres cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris L*) sembrados en San Andrés, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 117 p.

- SANCHEZ, P. A.** 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. San José, Costa Rica, IICA 660 p. (Serie libros y materiales educativos. n°48).
- \_\_\_\_\_ ; **SALINAS, J.** 1982. Suelos ácidos, estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Bogota, Colombia, SCCS. 93p.
- SIEVERDING, E.** 1989. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular. *In*. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Eds. E. Sieverding; M. Sánchez de Prager y N. Bravo. Palmira, Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias de Palmira p 1-14.
- SILVERIO, S.M.; SORDO, R.N.; ALVAREZ, A.V.** 1991. Introducción a la microbiología del suelo. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 186 p.
- SPARLING, G.P.** 1985. Soil organic matter and biological activity. Ed. by D. Vaughan and R. Malcom. Aberden, Scotland, The Macaulay Institute for Soil Research. 459 p.
- STAVER, C.** 1989. Shortened bush fallow rotations with relay-cropped *Inga edulis* and *Desmodium ovalifolium* in wet central Amazonian Perú. Agroforestry Systems (Netherlands) 8:173-196.
- TARAFDAR, J.C., MARSCHNER, H.** 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorous. Soil Biology and Biochemistry (U.K.) 26(3):387-395.
- TEKATOR.** 1995. Determination of Kjeldahl nitrogen content by using the Kjeltec system I. Application note 16/79. Höganäs, Sweden. 4 p.
- TIAN, G.; KANG, B.T.; BRUSSAARD, L.** 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions-descomposition and nutrient release. Soil Biology and Biochemistry (U.K.) 24(10):1051-1060.
- TIESSEN, H.** 1992. The study of phosphorus cycles in ecosystems. *In*. Anderson, J.M.; Ingram, J.S.I. (eds). Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2ed. Wallingford, England. CAB International, p 179-188.

- TINEO B., A.L.** 1993. Erosión hídrica y análisis de transferencia de N, P, K, Ca, Mg, en una rotación frijol - maíz con prácticas agronómicas de conservación de suelos, en tierras de ladera, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 98 p.
- TSAI, L.M.** 1992. Research on growth and yield, litter production, and nutrient cycling in acacias. *In* Tropical acacias in East Asia and the Pacific: proceeding. Eds. K Awang and D Taylor. Bangkok, Tailandia, Winrock International/FAO. p.72 - 75.
- \_\_\_\_\_. 1993 Growth and yield. *In* *Acacia mangium* growing and utilization. Eds. K Awang and D. Taylor. Bangkok, Thailand, Winrock International/FAO. p. 149-161.
- US. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES.** 1979. Microbial processes: promising technologies for developing countries. Washinton, D.C. National Research Council. 198 p.
- VASQUEZ, W.** 1992 Tipos de plantación y combinaciones agroforestales, Managua, Nicaragua, CATIE. 20 p.

**9. ANEXO**

**Anexo 1.** Metodología utilizada para la determinación de las fracciones de fósforo del suelo. (Hedley, 1982, modificado por Macêdo, 1996).

• **A. DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES INORGÁNICAS.**

**Día 1.** Pesar 1,5 g de suelo seco al aire (tamizado en malla de 0,2 mm) en tubos de centrifuga de polietileno. Agregar 30 mL de agua destilada y dos resinas intercambiadoras de aniones. Agitar por 16 horas.

**Día 2.** Extraer las resinas y trasvasarlas a nuevos tubos de centrifuga limpios; adicionar 20 mL de HCl 0,5M. Agitar por una hora, extraer las resinas y regenerarlas en una solución de NaHCO<sub>3</sub> 1M. Mientras se agita centrifugar el suelo que se encuentra en suspensión a 5000 r.p.m. por 10 minutos. Desechar el sobrenadante. Guardar el suelo para la siguiente extracción.

Tomar un alícuota de 15 mL de la solución de HCl 0,5M y trasvasarla a balones volumétricos de 50mL. Añadir 2 gotas del indicador p-nitrofenol, corregir el pH utilizando soluciones de NaOH 4N, NaOH 0,1N y NaOH 0,05N (el pH se ajusta cuando la solución cambia de transparente a verde muy claro). Para analizar el contenido de fósforo por el método de Murphy y Riley (1962). Las lecturas colorimétricas para fósforo se realizaron en la longitud de onda de 830 nm.

Al suelo centrifugado agregar 30 mL de NaHCO<sub>3</sub> 0,5M a pH de 8,5, y agitar por 16 horas.

**CÁLCULO DEL CONTENIDO DE PI EXTRAÍDO EN MEMBRANA**

$$Pi \text{ (mg/Kg de suelo)} = \text{valor ppm} \times (50/15) \times (20/\text{g de suelo})$$

**Día 3.** A los tubos conteniendo suelo mas  $\text{NaHCO}_3$  0,5M, agregarle 0,2 mL de superfloc (0,5%) y agitar por un minuto. Después centrifugar por 10 minutos. Tomar una alícuota de 15 mL y transferir para tubos de centrifuga limpios. Inmediatamente añadir cinco (5) mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2,4N para precipitar la materia orgánica en suspensión. Centrifugar por 10 minutos. Mientras se centrifuga, el sobrenadante que quedo en los tubos con el suelo trasvasarlo a recipientes limpios con tapa, para futuros análisis de fósforo total en  $\text{NaHCO}_3$  por digestión.

De la solución centrifugada tomar una alícuota de 10 mL y transferir para balones volumétricos de 50 mL. Añadir 2 gotas de p-nitrofenol y corregir pH como se indico anteriormente. El pH esta ajustado cuando la solución toma una coloración amarillo brillante. Analizar el fósforo colorimétricamente por el método de Murphy y Riley (1962). A los tubos conteniendo el suelo centrifugado, agregarle 30 mL de  $\text{NaOH}$  0,1M y agitar por 16 horas.

**CALCULO DEL CONTENIDO DE  $\text{P}_i$  EXTRAIDO EN  $\text{NaHCO}_3$  0,5M**

$$\text{P}_i \text{ (mg/Kg de suelo)} = \text{valor en ppm} \times (50/10) \times (30/\text{g de suelo}) \times (20/15)$$

**Día 4.** Retirar los tubos del agitador y centrifugarlos a 5000 r.p.m. por 10 minutos. Tomar un alícuota de 10 mL y transferir para tubos limpios. Adicionar 4 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2,4N y agitar por 10 minutos.

Mientras se centrifuga, de los tubos que contienen el suelo, trasvasar el sobrenadante a frascos limpios con tapa, para futuros análisis de fósforo total en  $\text{NaOH}$ . De la solución centrifugada, tomar una alícuota de un mL y

transferir a balones volumétricos de 50 mL. Añadir 2 gotas de p-nitrofenol, agua destilada y corregir el pH. La solución pasa de chocolate suave a amarillo débil. Analizar el fósforo colorimétricamente por el método antes citado.

A los tubos conteniendo el suelo centrifugado, agregarles 30 mL de HCl 1N y agitar por 16 horas.

**CALCULO DEL CONTENIDO DE Pi EXTRAIDO EN NaOH 0,1N**

$$\text{Pi (mg/Kg de suelo)} = \text{valor en ppm} \times (50/1) \times (30/\text{g de suelo}) \times (14/10)$$

**Día 5.** Retirar los tubos del agitador y centrifugarlos por 10 minutos a 5000 r.p.m. De la solución sobrenadante tomar un alícuota de 15 mL y transferir para los balones de 50 mL. Al igual que en los días anteriores corregir pH. La solución cambia de amarillo verdoso a naranja formándose un precipitado. Analizar fósforo como se indicó anteriormente. El sobrenadante restante debe ser eliminado y el suelo transferido para tubos de vidrio de 25 x 200 mm. Evaporar el agua existente por 24 a 36 horas en horno a una temperatura de 115 °C.

Nota: Los demás procedimientos de aquí en adelante son idénticos a los de días anteriores.

**CALCULO DEL CONTENIDO DE Pi EXTRAIDO EN HCl 0,1M**

$$\text{Pi (mg/Kg de suelo)} = \text{valor en ppm} \times (50/15) \times (30/\text{g de suelo})$$

**Día 8.** A los tubos conteniendo el suelo, añadirles ocho (8) mL de una mezcla de ácido nítrico + ácido perclórico + ácido sulfúrico ( en la proporción 4:2:2). Digerir las muestras por tres horas, los 30 primeros minutos a una temperatura de 150°C. Elevar la temperatura a 220°C y mantenerla por una hora. Posteriormente se debe elevar la temperatura a 270 °C y digerir de una a 1.5 horas.

**Nota:** Las muestras se consideran totalmente digeridas cuando el suelo se torna completamente blanco.

Trasvasar todo el suelo más solución de los tubos a balones de 100 mL. Lavar bien los tubos con agua destilada, completar el volumen del balón. Poner tapa y agitarlos. Dejar en reposo por 16 horas para que las partículas sólidas se precipiten.

**Día 9.** Pipetear tres (3) mL de la solución y transferir para valones de 50 mL. Corregir pH como se indico anteriormente. Analizar el fósforo colorimétricamente por el método de Murphy y Riley (1962).

**CALCULO DEL CONTENIDO DE Pi RESIDUAL EXTRAIDO CON  
LA DIGESTION ACIDA**

$$\text{Pi (mg/Kg de suelo)} = \text{valor en ppm} \times (50/3) \times (100/\text{g de suelo})$$

• **B. DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES ORGÁNICAS.**

De los extractos de NaHCO<sub>3</sub> y NaOH, tomar una alícuota de cinco (5) mL y un (1) mL. Respectivamente. Trasvasar en tubos de vidrio de 25 x 200 mm.

Los tubos que contienen las alicuotas de 5 mL y 1 mL, adicionarle 1,5 y 1 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, respectivamente. Agitar los tubos hasta mezclar bien los extractos con el  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Colocar los tubos en un digestor a una temperatura inicial de  $150^\circ\text{C}$  después de 30 minutos, elevar la temperatura hasta  $250^\circ\text{C}$  por 1 - 1,5 horas. Enfriar las muestras. Añadirles 1 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  libre de fósforo, ponerlas en el digestor por 30 minutos a  $200^\circ\text{C}$  para evaporar el agua oxigenada.

Sacar los tubos del digestor, dejarlas enfriar; luego trasvasar el contenido de los tubos para balones de 50 mL. Lavar bien los tubos con agua destilada y determinar el fósforo por colorimetría por el método de Murphy y Riley (1962).

**CALCULO DEL CONTENIDO DE  $P_{\text{TOTAL}}$  EN EL EXTRACTO  
DE  $\text{NaHCO}_3$**

$$P_i \text{ (mg/Kg de suelo)} = \text{valor en ppm} \times (50/5) \times (30/\text{g de suelo})$$

**CALCULO DEL CONTENIDO DE  $P_{\text{TOTAL}}$  EN EL EXTRACTO  
DE  $\text{NaOH}$**

$$P_i \text{ (mg/Kg de suelo)} = \text{valor en ppm} \times (50/1) \times (30/\text{g de suelo})$$

**Nota:** El fósforo orgánico de ambos extractos de calcula por diferencia.

**$P_o \text{ NaHCO}_3 = P_{\text{Total}} \text{ en NaHCO}_3 - P_i \text{ extraído en NaHCO}_3 \text{ 0,5M.}$**

**$P_o \text{ NaOH} = P_{\text{Total}} \text{ en NaOH} - P_i \text{ extraído en NaOH 0,1N.}$**

• **C. DETERMINACIÓN DEL  $P_{\text{TOTAL}}$  DE LAS MUESTRAS DE SUELO.**

Pesar 1,5 g de suelo seco al aire en tubos de vidrio de 25 x 200 mm. Agregar 8 mL de una mezcla de ácido nítrico + ácido perclórico + ácido sulfúrico (proporción 4:2:2). Digerir las muestras por tres horas, los 30 primeros minutos a una temperatura de 150°C, elevar la temperatura a 220°C y mantenerla por una hora, luego aumentar la temperatura a 270°C y digerir por 1 - 1,5 horas (en nuestro caso 45 minutos). Cuando el suelo toma una coloración blanca retirar los tubos del digestor y enfriar. Trasvasar todo el contenido de los tubos para balones de 100 mL. Lavar bien los tubos con agua destilada. Aforar los balones, taparlos y agitarlos. Dejar en reposo por 16 horas para que las partículas sólidas se precipiten. Al día siguiente pipetear 1 mL de la solución y transferir para balones de 50 mL. Determinar el fósforo por colorimetría por el método de Murphy y Riley (1962).

**CALCULO DEL CONTENIDO DE  $P_{\text{TOTAL}}$**

**$P_i \text{ (mg/Kg de suelo)} = \text{valor en ppm} \times (50/1) \times (100/\text{g de suelo})$**



Anexo 3. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre rendimientos y fertilidad de suelo. Ensayo sin árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.

Variables.	Vai/10	Gra/10	Rend	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Mn	Zn
Plan	ns	0,6897*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Vai/10		ns	0,7867*	ns	ns	ns	ns	0,7493*	ns	ns	0,6718*
Gra/10			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Rend				ns	0,7174*	ns	0,8152**	ns	ns	ns	0,6876*
K					ns	0,7774*	ns	ns	ns	ns	ns
Ca						0,8805**	ns	ns	ns	ns	0,7481*
Mg							ns	0,6818*	ns	ns	0,7320*
P								ns	ns		ns
Fe									ns	ns	0,7398*
Cu											ns
Mn											ns

Anexo 4. Intervalos de confianza al 95% para componentes del rendimiento Chiriquí, Panamá 1997 (Filas con la misma letra no difieren significativamente).

Variable número de plantas por parcela					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	2,1*	230,23	277,00	323,77	a
3	1,1	214,00	260,77	307,54	a
3	3,1	212,90	259,77	306,44	a
3	3,2**	218,64	257,67	296,70	a
3	1,2	198,30	237,33	276,36	a
3	2,2	182,64	221,67	260,70	a
Variable vaina / 10 plantas					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,2	67,63	95,33	123,03	a
3	2,2	64,63	92,33	120,03	a
3	3,1	47,72	88,33	128,94	a
3	1,2	46,63	74,33	102,03	a
3	2,1	12,39	53,00	93,61	a
3	1,1	3,94	36,67	77,28	a
Variable peso de 100 granos					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	2,2	148,79	165,00	181,21	a
3	2,1	137,12	158,33	179,54	a
3	3,1	134,12	155,33	176,54	a
3	1,2	132,79	149,00	165,21	a
3	3,2	132,46	148,79	164,87	a
3	1,1	122,79	144,00	165,21	a
Variable rendimiento por parcela					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	897,84	1054,12	1210,40	a
3	2,2	347,56	502,71	657,86	b
3	3,2	324,44	479,59	634,74	b
3	2,1	250,94	407,22	563,50	b
3	1,2	202,66	357,81	512,96	b
3	1,1	88,68	244,96	401,24	b

1\*=Ensayo sin árbol      2\*\*=Ensayo con árbol

Anexo 5. Intervalos de confianza al 95% Fertilidad de suelos. Macro-nutrientes. Chiriquí, Panamá 1997 (Filas con la misma letra no difieren significativamente).

Variable potasio					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	1,2	31,03	46,10	61,17	a
3	3,2**	25,56	40,63	55,70	a
3	2,1*	30,03	39,37	48,71	a
3	3,1	26,26	35,60	44,94	a
3	2,2	19,09	34,17	49,24	a
3	1,1	24,26	33,60	42,94	a
Variable calcio					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	2,12	3,86	5,60	a
3	2,1	0,96	2,70	4,44	a
3	1,1	0,37	2,11	3,85	a
3	3,2	1,62	2,07	2,52	a
3	2,2	0,94	1,39	1,83	b
3	1,2	0,70	1,14	1,59	b
Variable magnesio					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	0,40	0,67	0,94	a
3	2,1	0,28	0,55	0,82	a
3	1,2	0,26	0,39	0,51	a
3	1,1	0,11	0,38	0,64	a
3	3,2	0,22	0,34	0,47	a
3	2,2	0,21	0,33	0,46	a
Variable fósforo					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	1,10	1,27	1,44	a
3	1,1	0,73	0,90	1,07	b
3	3,2	0,53	0,83	1,14	b
3	2,2	0,46	0,77	1,07	b
3	2,1	0,53	0,70	0,87	b
3	1,2	0,19	0,50	0,81	b

1\*=Ensayo sin árbol      2\*\*=Ensayo con árbol

Anexo 6. Intervalos de confianza al 95% para fertilidad de suelo. Micronutrientes. Chiriquí, Panamá 1997 (Filas con la misma letra no difieren significativamente).

Variable Hierro					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1*	67,15	152,83	238,51	a
3	2,2**	55,00	126,73	198,46	a
3	1,2	54,70	126,43	198,16	a
3	2,1	40,22	125,90	211,58	a
3	3,2	33,14	104,87	176,60	a
3	1,1	14,19	99,87	185,55	a
Variable cobre					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	4,77	5,47	6,17	a
3	2,1	4,77	5,47	6,17	a
3	1,2	4,40	5,20	6,00	a
3	2,2	4,40	5,20	6,00	a
3	3,2	4,33	5,13	5,94	a
3	1,1	4,14	4,83	5,53	a
Variable manganeso					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	1,2	27,32	37,10	46,88	a
3	3,1	19,56	34,20	48,84	a
3	2,2	18,55	28,33	38,11	a
3	1,1	13,10	27,73	42,37	a
3	2,1	10,90	25,53	40,17	a
3	3,2	15,69	25,47	35,25	a
Variable zinc					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	2,2	0,58	1,03	1,49	a
3	1,2	0,41	0,87	1,32	a
3	3,2	0,41	0,87	1,32	a
3	3,1	0,58	0,83	1,08	a
3	1,1	0,42	0,67	0,92	a
3	2,1	0,28	0,53	0,78	a

1\*=Ensayo sin árbol      2\*\*=Ensayo con árbol

Anexo 7. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre rendimientos y nutrientes foliares.  
 Ensayo con árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.

Variables.	P	B	Ca	Mg	K	N	Fe	Cu	Mn	Zn
Plan	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Vai/10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,7402*	ns	ns	ns
Gra/10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,7006 *
Rend	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,7638 *	ns	ns
P		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca				-0,7908 *	ns	ns	ns	ns	-0,8710 **	
Mg					ns	ns	ns	ns	0,6948 *	ns
K						ns	ns	ns	ns	ns
N							ns	ns	ns	ns
Fe								ns	ns	ns
Cu									0,7494 *	ns
Mn										ns

Anexo 8.. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre rendimientos y nutrientes foliares.  
 Ensayo sin árbol. Chiriquí, Panamá. 1997.

Variables.	P	B	Ca	Mg	K	N	Fe	Cu	Mn	Zn
Plan	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,7313 *	ns
Vai/10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,8308 **	ns	ns	ns
Gra/10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,7770 *	ns
Rend	0,8845 **	ns	0,7237 *	0,8284 **	ns	0,8401 **	ns	ns	ns	ns
P		ns	0,7059 *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca				0,7132 *	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg					ns	0,7633 *	0,7072 *	ns	ns	ns
K						ns	ns	ns	ns	ns
N							ns	ns	ns	ns
Fe								ns	ns	ns
Cu									ns	0,7549 *
Mn										ns

Anexo 9. Porcentaje de nutrimentos en la planta a la madurez fisiológica. Chiriquí, Panamá. 1997.

Tratamiento	Nutrimentos (%)							
	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Mn	Zn
	Vainas							
1	13,13	32,69	30,33	69,23	3,60	23,20	15,05	29,70
2	13,83	36,17	27,32	68,00	15,25	17,34	17,20	32,21
3	11,34	28,57	33,73	60,53	2,41	28,15	11,85	38,06
1*	15,33	37,50	27,29	62,07	2,45	21,60	17,34	26,30
2*	12,87	34,04	30,66	60,71	4,20	22,80	15,73	30,26
3*	13,09	32,00	25,51	58,62	3,62	17,70	12,63	30,98
	Hoja+tallo							
1	69,50	30,77	41,80	19,23	7,37	30,52	66,58	41,35
2	65,96	29,79	46,79	24,00	25,39	34,93	61,09	34,25
3	71,48	34,92	43,67	23,68	6,47	25,51	68,97	34,25
1*	60,58	33,33	48,07	20,69	5,15	28,36	64,55	30,60
2*	68,75	36,17	46,70	21,43	4,84	26,57	64,04	38,53
3*	68,73	34,00	53,27	24,14	5,93	33,00	63,46	42,26
	Raíz							
1	17,37	36,54	27,87	11,54	89,02	46,28	18,37	28,94
2	20,21	34,04	25,89	8,00	59,36	47,73	21,71	33,54
3	17,18	36,51	22,59	15,79	91,13	46,34	19,18	27,59
1*	24,09	29,17	24,64	17,24	92,39	50,04	18,11	43,10
2*	18,38	29,79	22,64	17,86	90,95	50,63	20,23	31,22
3*	18,18	34,00	21,22	17,24	90,45	49,30	23,92	26,76

1 = Testigo sin árbol  
 2 = Cal 50% sin árbol  
 3 = Cal 50%+P sin árbol

1\* = Cal 0%+árbol  
 2\* = Cal 50%+árbol  
 3\* = Cal 100%+árbol

Anexo 10 Intervalos de confianza al 95% para micronutrientos foliares. Chiriquí, Panamá 1997 (Filas con la misma letra no difieren significativamente).

Variable Hierro					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1*	120,26	314,32	508,38	a
3	3,2**	66,64	97,41	128,19	a
3	1,2	63,77	94,54	125,32	a
3	1,1	-102,40	91,63	285,69	a
3	2,2	58,94	89,71	120,49	a
3	2,1	-108,40	85,66	279,72	a
Variable cobre					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	1,2	7,44	9,27	11,10	a
3	2,1	6,46	8,02	9,57	a
3	1,1	6,42	7,98	9,54	a
3	3,1	6,03	7,58	9,14	a
3	3,2	4,99	6,82	8,65	a
3	2,2	4,75	6,58	8,41	a
Variable manganeso					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	1,2	461,62	488,20	514,78	a
3	1,1	196,27	320,55	444,84	b
3	2,2	292,01	318,59	345,17	b
3	3,2	232,85	259,43	286,01	b
3	3,1	119,01	243,29	367,58	b
3	2,1	64,38	188,66	312,95	b
Variable zinc					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	2,1	32,76	48,16	63,56	a
3	1,1	30,80	46,20	61,60	a
3	3,1	24,46	39,86	55,26	a
3	3,2	21,96	32,57	43,18	a
3	1,2	21,93	32,54	43,15	a
3	2,2	20,93	31,54	42,15	a

1\*=Ensayo sin árbol

2\*\*=Ensayo con árbol

Anexo 11 Intervalos de confianza al 95% para macronutrientos foliares. Chiriquí, Panamá 1997 (Filas con la misma letra no difieren significativamente).

Variable potasio					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	2,1*	1,22	1,57	1,93	a
3	1,2**	1,33	1,50	1,67	a
3	3,2	1,27	1,44	1,61	a
3	2,2	1,19	1,36	1,53	a
3	3,1	0,93	1,29	1,64	a
3	1,1	0,86	1,21	1,57	a
Variable calcio					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	2,24	2,71	3,19	a
3	2,1	2,12	2,59	3,06	a b
3	3,2	2,10	2,34	2,58	a b c
3	2,2	1,76	2,00	2,24	a b c d
3	1,1	1,14	1,62	2,09	d e
3	1,2	1,15	1,39	1,63	e
Variable magnesio					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	0,23	0,29	0,35	a
3	1,2	0,21	0,23	0,25	a b
3	2,1	0,14	0,21	0,27	a b c
3	1,1	0,12	0,18	0,25	a b c
3	2,2	0,15	0,17	0,19	c
3	3,2	0,15	0,17	0,19	c
Variable fósforo					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	0,18	0,22	0,26	a
3	2,1	0,09	0,12	0,16	b
3	3,2	0,10	0,11	0,12	b
3	1,2	0,09	0,11	0,12	b
3	1,1	0,06	0,10	0,01	b
3	2,2	0,08	0,09	0,11	b

1\*=Ensayo sin árbol

2\*\*=Ensayo con árbol

## Anexo 11. Continuación...

Variable nitrógeno					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1*	4,14	4,47	4,79	a
3	2,1	3,54	3,86	4,19	a b
3	1,1	3,32	3,64	3,97	b
3	2,2**	2,70	3,40	4,09	b
3	1,2	2,64	3,34	4,03	b
3	3,2	2,43	3,13	3,82	b

Variable boro					
Número de observaciones	Tratamientos	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Grupo DMS
3	3,1	6,32	14,63	22,94	a
3	3,2	10,56	13,88	17,21	a
3	2,1	5,37	13,68	21,99	a
3	1,2	9,84	13,16	16,48	a
3	2,2	8,92	12,24	15,56	a
3	1,1	0,07	8,39	16,70	a

1\*=Ensayo sin árbol      2\*\*=Ensayo con árbol