

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ENSEÑANZA

ÁREA DE POSTGRADO

CAMBIOS EN PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO EN 6 AÑOS DE CULTIVOS EN CALLEJONES Y COMPARACIÓN DE 2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE FÓSFORO EN *Calliandra calothyrsus* (Meissn), *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook y *Gliricidia sepium* (Jacquin) Steud.

Tesis sometida a consideración del comité Técnico del Programa de Enseñanza de Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de:

Magister Scientiae

Por

YUDIS HEREDIA VÓLQUEZ

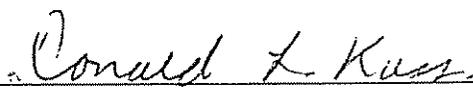


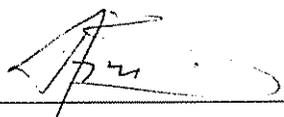
Turrialba, Costa Rica 1996

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:

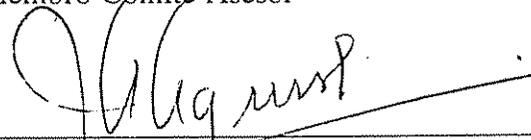
MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

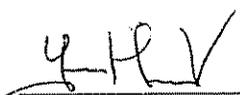

Donald Kass
Profesor Consejero


José Arze
Miembro Comité Asesor


Jorge Faustino
Miembro Comité Asesor


Juan A. Aguirre
Jefe, Area de Postgrado


Pedro Ferreira
Director, Programa de Enseñanza


Yudis Heredia Vólquez
Candidato

DEDICATORIA

A mi padre, Antonio Heredia

A mi madre, Angela María Vólquez

A mi abuela, Luz del Carmen Vólquez

A mis hermanos: Pablo, Marcelo, Carlito, Raiza, Pascual, Amaurys y Mili.

A mi querido pueblo, Duvergé, R.D.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que hicieron posible sus estudios en el Programa de Postgrado del centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza.

Al Dr. Donald Kass, consejero principal, por su excelente orientación y ayuda.

A los miembros del comité asesor: Jorge Faustino, Ph.D. ; José Arze, M.Sc., por la colaboración y acertada guía en el desarrollo de este trabajo.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), por el apoyo económico para realizar la maestría.

Al Ing. Carlos Fernandes encargado de los trabajos de campo del área de agroforestería, por su valiosa ayuda en los trabajos de campo y laboratorio.

A mis compañeros de promoción: Jefferson Vasconcelos, Francisco López, Justino Gonzalez, Mario Talavera, Raúl Mass, Sergio García, Toribio Contreras, Amael Jimenez y Pablo Dubon, por la amistad que me brindaron.

TABLA DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
RESUMEN	vii
SUMMARY.....	x
INDICE DE CUADROS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
I-INTRODUCCION.....	1
1.1 OBJETIVOS:.....	3
1.2 HIPÓTESIS:.....	3
II- REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 ANTECEDENTES.....	4
2.2 EFECTOS DE LOS ÁRBOLES SOBRE LOS SUELOS	5
2.3 CAMBIO EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO BAJO CULTIVOS EN CALLEJONES	6
2.3.1 <i>Cambio en las propiedades químicas del suelo en cultivos en callejones.</i>	7
2.3.2 <i>Cambio en las propiedades físicas del suelo bajo cultivos en callejones.</i>	9
2.4 EXTRACCIÓN DE FÓSFORO CON ÁCIDO TRICLOROACETICO Y AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE	12
III- MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 MATERIALES.....	14

3.1.1	<i>Descripción del sitio experimental</i>	14
3.1.2	<i>Materiales de campo y laboratorio</i>	14
3.2	METODOLOGÍA.....	15
3.2.1	<i>Manejo del experimento</i>	15
3.2.2	<i>Diseño y unidad experimental</i>	16
3.2.3	<i>Tratamientos</i>	18
3.2.4	<i>Variables de respuesta</i>	18
3.3	PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DE FÓSFORO EN TCA FRÍO Y CALIENTE Y AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE (POLGLASE <i>ET AL</i> , 1992).....	19
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	21
4.1.1	<i>Contenido de Fósforo disponible</i>	21
4.1.2	<i>Nitrógeno</i>	23
4.1.3	<i>Potasio</i>	24
4.1.4	<i>Calcio</i>	26
4.1.5	<i>Magnesio</i>	28
4.1.6	<i>Materia Orgánica</i>	30
4.2	PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	32
4.2.1	<i>curvas de retención de humedad del suelo</i>	32
4.2.2	<i>Distribución de poros</i>	35
4.2.3	<i>Conductividad hidráulica saturada</i>	37
4.2.4	<i>Resistencia a penetración</i>	38
4.2.5	<i>Densidad aparente y Densidad de partículas</i>	40
4.3	EXIRACCIÓN DE FÓSFORO MEDIANTE EL MÉTODO DEL TCA FRÍO, TCA CALIENTE Y H ₂ O A TEMPERATURA AMBIENTE.....	42
4.4	RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE FÓSFORO DISPONIBLE EN EL FOLLAJE DE LAS ESPECIES ARBÓREAS UTILIZADAS CON EL FÓSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO Y EL FÓSFORO EXTRAÍDO POR EL CULTIVO, EN SISTEMAS DE CULTIVOS EN CALLEJONES.....	45
4.5	RENDIMIENTOS DEL FRIJOL.....	47

V- CONCLUSIONES.....	50
VI- LITERATURA CITADA	52
VII- ANEXOS	56

HEREDIA V, Y 1996. CAMBIOS EN PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO EN 6 AÑOS DE CULTIVOS EN CALLEJONES Y COMPARACIÓN DE 2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE FÓSFORO EN *Calliandra calothyrsus* (Meissn), *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook y *Gliricidia sepium* (Jacquin) Steud. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 67 p.

Palabras claves: Cultivos en callejones, propiedades físicas y químicas de suelo, métodos de labranza, ácido tricloroacético, extracción de fósforo, cultivo de frijol

RESUMEN

Se realizó un estudio para evaluar los cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo en 6 años de cultivos en callejones con una rotación Maíz-Frijol, en suelos planos y fertilidad media. Se utilizaron las especies *Erythrina Poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook, *Calliandra Calothyrsus* Meissn y *Gliricidia Sepium* (Jacquin) Steud, con labranza y sin labranza. También se comparó la extracción de fósforo en la hojarasca de las especies arbóreas utilizadas, por los métodos del ácido Tricloroacético frío y caliente (TCA frío, TCA caliente), y agua a temperatura ambiente. El experimento se inició en 1990 en el campo experimental "La Montaña" del CATIE. Se clasificó el suelo como Typic humitropept, de origen volcánico.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con parcelas divididas en el tiempo y tres repeticiones, para medir los cambios en las propiedades químicas, y un diseño de bloques al azar con parcelas divididas en el espacio para evaluar los cambios en las propiedades físicas. Los tratamientos evaluados fueron: *Erythrina*, *Calliandra*, *Gliricidia* y un testigo, con labranza y sin labranza. Durante los 6 años del experimento no se utilizó fertilizantes químicos en ningún tratamiento.

En los 6 años completos se midieron el contenido de (N, P, Ca, K, Mg, y Materia orgánica), del suelo. En el último año se midieron las propiedades físicas (retención de humedad, tamaño de poros, densidad aparente, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica, capacidad de agua disponible). Las mediciones de las propiedades químicas y físicas se realizaban después de cada cosecha.

Se encontró que el sistema de cultivos en callejones produjo muy pocas modificaciones en las propiedades químicas y físicas del suelo en el transcurso de 6 años, en comparación con el control sin árboles. En especial el contenido de fósforo, potasio y magnesio registraron un leve aumento. Mientras que la materia orgánica, nitrógeno y calcio registraron una ligera disminución en los 6 años. No se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para estos elementos.

Para las propiedades físicas se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos en retención de humedad a 1500 kPa. En las tensiones de 1, 5, 33, 100 y 500 kPa no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. En resistencia a penetración se encontró diferencias significativa entre los tratamientos con labranza y los tratamientos sin labranza, pero no entre especies arbóreas. Así mismo para la distribución de tamaño de poros se encontraron diferencias significativas entre los cultivos en callejones en comparación con el control sin árboles.

La *Erythrina* reportó el mayor contenido de fósforo total y fósforo fácilmente disponible en la hojarsca, cuando se comparó la extracción de fósforo por los métodos de TCA frío, TCA caliente y agua a temperatura ambiente. Mientras que la especie *Calliandra* presentó el mayor contenido de fósforo moderadamente disponible. Así mismo, *Erythrina* tubo la mayor cantidad de fósforo extraído en H₂O a T° ambiente, mientras que las hojas de *Calliandra* presentaron mayor contenido de fósforo extraído en TCA frío Y TCA caliente.

SUMMARY

A study was undertaken to evaluate the changes in soil physical and chemical properties in six years of alley cropping with a Maize-Bean rotation in flat soils of medium fertility. The species utilized were *Erythrina Poepigiana* (Walpers) O. F. Cook, *Calliandra Calothyrsus* Meissn and *Gliricidia Sepium* (Jacquin) Steud, with and without tillage. Also, phosphorus extraction from the leaf litter of the tree species was compared, by the cold and hot trichloroacetic acid method (cold TCA and hot TCA), and water at ambient temperature. The experiment was initiated in 1990 at the experimental station "La Montaña" belonging to CATIE. The soil is classified as Typic Humitropept, of volcanic origin.

A random block design with split plots in time with three repetitions was utilized to measure the chemical properties, and a random block design with split plots in space was used to evaluate changes of the physical properties. The treatments evaluated were: *Erythrina*, *Calliandra*, *Gliricidia* and a control with or without tillage. During the six years of the experiment no chemical fertilizers were used in any of the treatments.

During the whole six years, the mineral content (N, P, Ca, K, Mg, and organic matter) of the soil were measured. In the last year the physical properties (water retention, pore size, bulk and particle density, penetration resistance, hydraulic conductivity, availability water capacity) were evaluated. The measurements of physical and chemical properties were done after each harvest.

It was observed that the alley cropping system produced very few modifications to the soil physical and chemical properties during six years in comparison to the control without trees. Especially, the phosphorus, potassium and magnesium content showed a slight increase. No statistically significant differences were observed for these elements among treatments.

For the physical properties there was statistically significant differences for water retention at 1500 kPa. There were no statistical differences at 1, 5, 33, 100 and 500 kPa for the treatments. With regards to resistance to penetration there were significant differences for treatment with tillage and those without tillage, but not differences between tree species. For pore size distribution there was also significant differences between alley cropping and the control without trees.

Erythrina had the highest total phosphorus content and the readily available phosphorus in the leaf litter when phosphorus extraction by cold TCA, hot TCA methods and water at room temperature were compared. The species *Calliandra* showed the highest content of moderately available phosphorus. *Erythrina* had the largest quantity of phosphorus extracted by water at room temperature, while *Calliandra* leaves had the largest content of phosphorus extracted by cold and hot TCA.

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cambios en el contenido de fósforo disponible (mg/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.....	21
Cuadro 2. Cambios en el contenido de nitrógeno (%), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.....	23
Cuadro 3. Cambios en el contenido de Potasio (cmol/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.....	25
Cuadro 4. Cambios en el contenido de Calcio (cmol/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.....	27
Cuadro 5. Cambios en el contenido de Magnesio (cmol/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.....	29
Cuadro 6. Cambios en el contenido de materia orgánica (%), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.....	30
Cuadro 7. Valores medios de retención de humedad y capacidad de agua disponible en (cm ³ /cm ³), a diferentes presiones. La montaña, Turrialba, 1996.....	33
Cuadro 8. Distribución de espacio poroso por tratamiento. La Montaña, Turrialba, 1996.....	35
Cuadro 9. Conductividad hidráulica saturada en (cm/h), a la profundidad de 0-20 cm. La montaña, Turrialba, 1996.....	37
Cuadro 10. Valor medio de resistencia a la penetración en (kg/cm ²), por tratamientos a profundidad de 0-20 cm. La Montaña, Turrialba, 1996.....	39

Cuadro 11. Densidad aparente y de partículas promedio por tratamientos de 0-20 cm de profundidad. La Montaña, Turrialba, 1996.....	41
Cuadro 12. Comparación de 3 métodos de extracción de fósforo, TCA frío , TCA caliente y H ₂ O, en las especies arbóreas utilizadas. La Montaña, Turrialba, 1996.....	42
Cuadro 13. Contenido de fósforo total (mg/kg) para las 3 especies utilizadas. Turrialba, C.R. 1996.....	43
Cuadro 14. Resultado del análisis de correlación parcial para el fósforo disponible en el follaje, fósforo disponible en el suelo y fósforo extraído por el cultivo. La Montaña, Turrialba, 1996.....	46
Cuadro 15. Rendimientos de frijol (kg/ha), en cultivos en callejones en el ciclo diciembre-abril de 1996 , La Montaña, Turrialba.....	47
Cuadro 16. Resultado del análisis de correlación para resistencia a penetración y producción de frijol. La Montaña, turrialba, 1996.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del fósforo disponible en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.....	22
Figura 2. Comportamiento del nitrógeno del suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.....	24
Figura 3. Comportamiento del potasio en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.....	26
Figura 4. Comportamiento del calcio en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.....	28
Figura 5. Comportamiento del magnesio en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.....	29
Figura 6. Comportamiento de la materia orgánica del suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.....	31
Figura 7. Curvas características de humedad del suelo en cultivos en callejones Vs testigo.....	34
Figura 8. Distribución del tamaño de poros de los tratamientos de cultivos en callejones Vs testigo.....	36
Figura 9. Resistencia a la penetración del suelo en cultivos en callejones con y sin labranza.....	40
Figura 10. Contenido de Fósforo disponible y Fósforo total en la hojarasca de las especies arbóreas utilizadas.....	44
Figura 11. Comparación del fósforo extraído por medio de H ₂ O a temperatura ambiente, TCA frío y TCA caliente, en la hojarasca de las especies arbóreas utilizadas.....	45

**Figura 12. Rendimiento de frijol en cultivos en callejones, en el ciclo
diciembre- abril , 1996.....49**

I-INTRODUCCION

La degradación de los recursos naturales (suelos, bosques y aguas) es uno de los principales desafíos que enfrentan los países de la zona tropical, como consecuencia del uso inadecuado que se ha hecho de éstos en los sistemas tradicionales de producción agrícola. A la luz de este hecho, es necesario buscar alternativas de producción más eficaces para resolver los problemas de baja producción y deterioro de la tierra. Es dentro de este contexto particular que nace el gran interés dado a los sistemas agroforestales. En tal sentido los sistemas agroforestales pueden brindar una opción viable para el uso sostenible de los suelos en el trópico que aumente y/o mantenga la productividad de la tierra sin causar degradación.

En los últimos años mucha investigación en sistemas agroforestales ha estado enfocada hacia el componente arbóreo, sobre todo en las interacciones sobre el suelo; pero existe poca información sobre los cambios en las propiedades químicas y físicas que se producen en el suelo en estos sistemas. Por tanto es necesario estudiar las modificaciones que pueden ocurrir en el suelo, y se espera que todo cambio en el uso de la tierra modifique las características físico-químicas del suelo.

El rasgo principal de un sistema de producción sostenible es la continua compensación de los nutrientes exportados, mantenimiento de la materia orgánica del suelo, mantenimiento de las condiciones físicas incluyendo el control de la erosión del suelo (Tian, 1992).

El cultivo en callejones implica el crecimiento de cultivos alimenticios entre las hileras de árboles y arbustos plantados, preferiblemente especies leguminosas. Las hileras son podadas periódicamente durante el crecimiento del cultivo para proveer biomasa (la cual, cuando retorna al suelo, mejora el nivel de nutrientes y propiedades físicas) y prevenir el sombreado del cultivo (Nair, 1993). Aunque el papel de los residuos de plantas en la regeneración de los nutrientes y materia orgánica del suelo, y mejoramiento de las propiedades físicas y biológicas es bien conocido, poca información está disponible del papel de los residuos de especies leñosas usadas en sistemas agroforestales (Kang et al., 1990).

Una de las razones del realce dado a los sistemas agroforestales para ser adoptados por productores de pocos recursos en el trópico es la creencia que la inclusión de especies deseables y leñosas perennes compatibles en sistemas de uso de la tierra con labranza debería causar un mejoramiento en la fertilidad del suelo (Lal,1989b). En este sentido Sánchez (1987) ha formulado lo que se llama la hipótesis de suelos y agroforestería que constata “ los sistemas agroforestales apropiados mejoran las propiedades físicas del suelo, mantienen la materia orgánica del suelo, y promueven el ciclaje de nutrimentos.

1.1 Objetivos:

Generales:

Evaluar los cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo en 6 años de cultivos en callejones, en suelos planos y fertilidad moderada.

Comparar la cantidad de fósforo extraído por los métodos del TCA frío y TCA caliente y agua a temperatura ambiente en las especies *Erythrina*, *Calliandra* y *Gliricidia*

Específicos:

- ♦ Medir los niveles de P disponible en el follaje de diferentes especies arbóreas y correlacionarlo con la cantidad de P disponible en el suelo y las cantidades absorbidas por las plantas en cultivos en callejones
- ♦ Identificar y cuantificar las diferentes formas de fósforo disponible en la hojarasca de las especies arbóreas
- ♦ Evaluar el efecto de la labranza en las propiedades físicas del suelo en cultivos en callejones.

1.2 Hipótesis:

- ♦ Los cultivos en callejones no mejoran las propiedades físicas y químicas de los suelos por medio de la adición de materia orgánica y aporte de nutrimentos.
- ♦ El aporte de nutrimentos por medio del material podado de las especies arbóreas no aumenta la disponibilidad de P para los cultivos asociados, en comparación con el monocultivo
- ♦ La labranza no mejora las características hidrológica del suelo en cultivos en callejones, en comparación con la no labranza

II- REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes

Según Kang et al (1990), el concepto de cultivo en callejones viene de la práctica de sembrar *Leucaena* en surcos de contorno en Indonesia y las Filipinas que empezó por los años 20 y 30 y ganó más impulso en los años 50. Un estudio de Guevara et al. (1978) fue el primero en investigar el efecto de la leucaena sobre los cultivos asociados. A partir de esta fecha, Kang y asociados en IITA en Nigeria empezaron una serie de experimentos que resultaron dentro de diez años en un conocimiento casi mundial de la tecnología (Kang et al., 1981, 1985, 1990).

La racionalidad del asocio de cultivos y árboles fue sugerida como una forma de mejorar el sistema tradicional de corte y quema en el trópico húmedo por Jurion y Henry (1969). Nair (1979) resumió los resultados de diversos esfuerzos para mejorar el asocio de cultivos con las palmas cocos *nucifera* L. y *Elaeis guineensis* Jacq. y *areca catechu* L., que no producen mucha sombra y constituyen una práctica tradicional en la India (Tejwani, 1987).

Los primeros resultados de Kang et al (1981) fueron bastante animadores; sin embargo no todos los investigadores han obtenido resultados tan positivos como Kang (Kang et al., 1981, Kang et al., 1985). En nueve casos de cultivos en callejones compilados por Ssekabembe (1985), (que no incluyó ninguna cita en América) solamente en cuatro de los casos se aumentó la producción del cultivo asociado. Combinando los datos de diferente años, en los sitios reportados por Kass y Araya (1987), el cultivo en callejones aumento el rendimiento de maíz, en dos de los cuatros sitios experimentales en Costa Rica.

Los trabajos de Kang y Kass fueron criticados por Sánchez (1987) por tratar de suelos de fertilidad mucho más altas que lo que comúnmente se encuentran en el trópico. Se empezó una serie de experimento en un suelo *Typic Paleustult* para determinar el beneficio de cultivo en callejones en suelos menos fértiles (Szott, 1987; Fernandes, 1990; Szott et al., 1991a; Salazar, 1991). Los rendimientos de los cultivos quedaron más bajo en cultivos en callejones que en monocultivo y se notó una tendencia a aumentar los rendimientos de los

cultivos conforme aumentó la distancia del surco de la leguminosas leñosas, indicando que en estos suelos, la competencia por nutrimentos era muy intensa. La fertilización con P no tenía mucho efecto sobre la producción de los cultivos. En suelos aluviales (Tropofluvents) con mayor contenido de bases, el cultivo de callejones era más exitoso

Una situación donde el cultivo en callejones presentó problemas que no eran evidente en los trabajos de Kang y Kass fue donde había limitación de agua, en una parte del año. Otro aspecto en el cual Kang et al (1981,1990) reportaron beneficios para el cultivo en callejones fue en mantener o mejorar las propiedades del suelo.

2.2 Efectos de los árboles sobre los suelos

Los efectos benéficos de los árboles sobre la fertilidad de los suelos pueden incluir tanto una mejora en la estructura del suelo como aumentos en la disponibilidad de nutrimentos. También pueden ocurrir efectos perjudiciales, tales como aumentos en la acidez, producción de sustancias alelopáticas y competencia con otras especies por agua o nutrimentos (Cosso, 1976; de las Salas y Fassbender, 1984; Nair, 1989; Sánchez et al., 1985; Young, 1989).

Los principales efectos de los árboles sobre los suelos son consecuencia de la materia orgánica obtenida por medio de: 1) la hojarasca y las podas, y 2) la descomposición de raíces. La mayoría de los estudios sobre este tema han sido realizados en bosques naturales o implantados, sitios de agricultura migratoria o en parcelas de regeneración natural. Las prácticas agroforestales no siempre benefician a las propiedades físicas y químicas de los suelos; por otro lado, muchos ejemplos sobre efectos beneficiosos han surgido de investigaciones realizadas en suelos fértiles que no necesitan una gran mejoría (Sánchez et al., 1985).

Las especies arbóreas pueden influir sobre el pH, cationes, materia orgánica, contenido y disponibilidad del nitrógeno y fósforo del suelo. Como se ha visto, los efectos de los árboles sobre la fertilidad varían según las especies y las condiciones ambientales; se deben diferenciar los impactos beneficiosos y los indeseables (Young, 1989). Es importante

conocer los mecanismos que producen tales resultados, para poder decidir sobre las técnicas de manejo adecuadas para obtener impactos deseables.

2.3 Cambio en las propiedades del suelo bajo cultivos en callejones.

El suelo es uno de los ambientes en que las interacciones entre los componentes arbóreos y no arbóreos de un sistema agroforestal van a ocurrir. Entonces se espera que el uso de sistemas agroforestales van afectar propiedades del suelo. Considerable investigación en agroforestería consiste en la medición de propiedades de suelos antes y después del uso de un sistema agroforestal (Sánchez, 1987). Hay que saber cuales propiedades del suelo más probablemente serán afectada por sistemas agroforestales y como medirlas, para determinar el sistema agroforestal más apropiado para un ambiente dado (Szott et al., 1991)

La racionalidad para suponer que la agroforesteria puede conservar la fertilidad del suelo es que los sistema pueden ser diseñado en los cuales las pérdidas del componente cultivo son balanceado por ganancias por el componente arbóreo.

Una de las premisas más importantes de los sistemas agroforestales es que mantienen más favorables las propiedades físicas del suelo que la agricultura tradicional, a través de la combinación del mantenimiento de la materia orgánica y el efecto de las raíces de los árboles. Es sabido que las propiedades físicas pueden ser tan importante como el nivel de nutrimentos en la fertilidad y producción de cultivos (Young, 1989). Hay algunas evidencias directa, principalmente para Ibadan, Nigeria, que las propiedades físicas son mantenidas bajo cultivos en callejones.

La evidencia indirecta más fuerte de la capacidad de los sistemas agroforestales para mantener la materia orgánica del suelo son los altos contenidos de materia orgánica de la mayoría de los suelos bajo bosque natural. Esto esta asociado con observaciones de la declinación en la materia orgánica del suelo cuando el suelo es desmontado para agricultura y la subsecuente recuperación durante el período de barbecho que sigue la agricultura migratoria

Debido a su mayor profundidad y sistema radicular más extenso, y la capacidad de fijar nitrógeno de la mayoría de las especies leguminosas, los árboles y arbustos pueden

incrementar la fertilidad del suelo, y mejorar las propiedades del suelo, por lo tanto beneficiando el cultivo (Matta-Machado et al., 1995).

2.3.1 Cambio en las propiedades químicas del suelo en cultivos en callejones.

Trabajos del IITA han demostrado aumentos en materia orgánica y cationes intercambiables después de seis años de cultivos en callejones. Lal (1989b), reportó menor disminución en los niveles de N y pH del suelo y menor densidad aparente y mayor retención de humedad del suelo después de cuatro años con cultivos en callejones. Kass et al (1989), reportó pocos cambios en el estado de fertilidad del suelo con excepción de los niveles de K intercambiables después de seis años de cultivo en callejones, y concluyó que el mejor desempeño del frijol en el sistema fue debido a mejoras en las propiedades físicas del suelo.

Estudios subsecuentes (Haggar, 1990; Haggar et al., 1991; Mazzarino et al., 1993) demostraron pocos cambios en las formas del fósforo o el N y C en la biomasa microbial que se podía atribuir a cultivos en callejones. Notando que muy poco del nitrógeno que se aplicó con el material podado apareció en los cultivos, Haggar concluyó que el mayor beneficio del cultivo en callejones viene de la acumulación lenta de las fracciones orgánicas.

En Yurimaguas, se ha reportado pocas diferencias en los niveles de pH, Ca+Mg, Al intercambiable, y P en las parcelas con cultivos en callejones y los controles no fertilizados en un suelo infertil (Typic Paleudult). Había un pequeño aumento en el nivel de K intercambiable (Szott et al., 1991). En el suelo más fértil, se notó una disminución en los niveles de P y un aumento en los niveles de Ca y Mg después de tres años de cultivos en callejones (Salazar, 1991; Salazar et al., 1993).

Kang et al (1989) y Kang y Wilson (1987) reportan que, con la continua adición de la poda de *L. Leucocephala*, fue mantenido más alto el contenido de materia orgánica y nivel de nutrientes comparado con los tratamientos sin adición de la poda. Yamoah et al (1986a) comparó el efecto de *C. siamea*, *G. sepium* y *F. macrophylla* en un experimento de cultivo en callejones, y encontró que la materia orgánica y el nivel de nutrientes fue

mantenido en el nivel más alto con *C. siamea* (la cual, sorpresivamente, es una especie que no fija N)

Matta-Machado *et al* (1995), en un trabajo de cultivos en callejones en el suroeste de los USA, reportó que el balance de las entradas y salidas de los nutrientes N , P,K,Ca, y Mg fue más alto para alleycropping comparado con un cultivo anual de leguminosas. Esto mismos autores sostienen que en un periodo de tres años, el alleycropping parece ser más eficiente en controlar la indisponibilidad de las formas de fósforo en el suelo, y se logra una mayor reserva de fósforo comparado con el cultivo anual de leguminosa.

Campbell *et al* (1994) trabajando en dos tipos de suelos contrastante en una zona semiárida de Zimbabwe, reportó que la influencia de los árboles en el nivel de cationes es mayor en suelos arenosos que en suelos de textura fina, porque la capacidad de intercambio de los suelos de textura fina es determinada grandemente por la textura del suelo mientras que la materia orgánica es la principal determinante de la capacidad de intercambio cationico en los suelos arenosos

Yamoah *et al* (1986) trabajando en un suelo Oxic paleustalf, Ibadan, Nigeria, demostró que las propiedades químicas del suelo fueron mejoradas en los sitios con cultivos en callejones, los suelos con *Cassia* tuvieron el mayor contenido de N,P,K y carbono orgánico con valores de 0.344%, 45.6 ppm, 0.55 meq/100gr, y 2.32% respectivamente, después de la segunda cosecha de maíz. La densidad aparente , diámetro promedio de los agregados y capacidad de retención de agua fue mayor en cultivos en callejones , en comparación con el control. El contenido de humedad gravimetrica fue generalmente mayor en cultivos en callejones y los más altos correspondieron a *Cassia*.

Márquez *et al* (1993) en un estudio del efecto que tiene una cronosecuencia de teca sobre los suelos encontraron aumentos significativos en los contenidos de Calcio, Magnesio, pH, Nitrógeno, Materia orgánica y en la CIC en plantaciones de 12 años de edad. No hubo variaciones en los contenidos de Potasio, pero si una disminución significativa en los de fósforo en las plantaciones estudiadas (2, 7 y 12 años). Concluyeron que, con el crecimiento, la teca extrae con mayor eficiencia más cantidad de nutrimentos de los horizontes profundos del perfil del suelo, que son retornados como hojarasca sobre la superficie. Ello produce,

con el tiempo , un aumento en los elementos nutritivos como consecuencia del reciclaje de nutrimentos por descomposición de la hojarasca.

2.3.2 Cambio en las propiedades físicas del suelo bajo cultivos en callejones.

Comparativamente existe pocos datos referentes a los efectos de los sistemas agroforestales en las propiedades físicas del suelo. Dentro un sistema agroforestal establecido, los macroporos dominan el espacio poroso y facilitan un rápido movimiento del agua a través del perfil de suelo (Lal, 1989c). Por lo tanto la presencia de árboles dentro un paisaje afecta sus características hidrológicas.

El mejoramiento en las propiedades físicas en sistemas agroforestales son atribuibles a: i) eliminación del disturbio de la superficie del suelo, ii) presencia del mantillo de hojas que fomenta la actividad de la fauna del suelo y iii) efecto mejorador de los canales de las raíces en la macroporosidad y porosidad total.

En este sentido Lal (1989d), trabajando en un Alfisol tropical del Oeste de Nigeria, reportó incrementos en la densidad aparente del suelo para todos los tratamientos. El máximo incremento en la densidad aparente fue para el tratamiento sin labranza. Asimismo encontró un incremento en la resistencia a penetración en la superficie de 0-5cm, pero la más alta resistencia a la penetración correspondió a el tratamiento sin labranza. Con relación a la porosidad total, retención de humedad gravimétrica a cero succión el valor más bajo fue para los tratamientos sin labranza y los más altos para el sistema con *Gliricidia*. Se encontró un mejoramiento significativo en la capacidad de agua disponible (AWC) del suelo para ambos sistemas , *Leucaena* y *Gliricidia*. Este mismo autor sostiene que la modificación en las curvas características de humedad por los sistemas agroforestales son atribuido a mejoramiento en la estructura del suelo y porosidad estructural.

En otra investigación en Ibadan Nigeria, Lal (1989d) reporta con *Leucaena* y *Gliricidia* cultivadas en callejones aumentos en la infiltración acumulada y la tasa de infiltración de agua medida a 20-40-60-80-100 y 120 minutos durante un tiempo de evaluación de seis años , comparados con cultivos limpios sin labranza. Sin embargo , estos dos parámetros disminuyeron a través del tiempo y se concluyo que los cultivos en

callejones tienen poco efecto sobre la capacidad de absorción de agua, pero influyen notoriamente sobre la conductividad hidráulica del suelo.

En un experimento en la "Montaña", CATIE, Kass et al (1989), concluyen que en función de la porosidad y el tamaño de poros, hay muy poca agua disponible para las plantas en estos suelos y que de esta forma un déficit hídrico puede producir stress en pocos días. Los mismos autores señalan que la aplicación de estiércol y de mulch aumentó el volumen de poros más grandes.

En muchos sitios experimentales, donde se han hecho aplicaciones de mulch en la actividad agrícola, se considera que se conserva la humedad de los suelos. En Nigeria, por ejemplo, habiendo aplicado una capa de paja de 11 ton/ha consiguieron aumentar la humedad del suelo de 4.3% a 7.8%. Lal (1989d) mostró en promedio un aumento del contenido de humedad en 3.55cm en parcelas donde se había aplicado mulch en tres ciclos de cultivo de maíz en una evaluación a una profundidad entre 0-20 cm del suelo.

En un experimento realizado en un suelo Typic Kandudult en el Suroeste de Camerún, Hulugalle y NDI (1993) reportan que la cero labranza no tubo efecto significativo en las propiedades físicas del suelo, excepto el decrecimiento de la temperatura del suelo. En comparación con la labranza manual, la cero labranza incrementó el carbono orgánico y nitrógeno en ambos años. También encontraron que los tratamientos sin labranza tenían mayor proporción de raíces de las especies arbóreas en la superficie de suelo. Estos autores sostienen que el cultivo en callejones causó reducciones significativas de la temperatura del suelo en la estación seca, en la formación de costra superficial y crecimiento de las raíces del cultivo, y el incremento en Ca intercambiable, capacidad de intercambio efectiva (CEC) y la infiltración de agua comparado con el control cultivo sin labranza. La tasa de infiltración dos horas después del comienzo de las mediciones fue 75% mayor para cultivos en callejones.

En un experimento conducido en un suelo Inceptisol tropical en el Oeste Samoa, Rosecrance et al (1992) reportan que los suelos con los tratamientos con cultivo en callejones de *Calliandra calothyrsus* y *Gliricidia sepium* mantienen significativamente más agua en el rango de 0.3 a 1 bar que los suelos del control. Igualmente sostienen que 4 años de aplicación de mulch mejoró la capacidad de retención de agua y densidad aparente. Sin

embargo , no hubo mejoría en los niveles de N,P,K,Ca,Mg y materia orgánica en los cultivos en callejones comparados con el control

Andriulo et al (1988) en un estudio de las propiedades físicas en dos sistemas de labranza , encontraron que en la labranza convencional, hasta 10 cm de profundidad, la densidad aparente y la resistencia del suelo fueron menores que en siembra directa. A la misma profundidad, la porosidad de aireación resultó mayor en labranza convencional que en siembra directa mientras que la capacidad de reserva de agua fue menor en labranza convencional También observaron una disminución en la frecuencia de poros de tamaños relativamente mayor en los agregados de los suelos no labrados. Esto es muy importante, dado que el agua se mueve libremente sólo a través de poros mayores de 30-60 micrones de diámetro, siendo retenida por las fuerzas de capilaridad en los poros de diámetro menor A pesar de su mayor densidad aparente , los suelos bajo siembra directa continuada presentan macroporos que drenan fácilmente. Esta situación es atribuida a los canales de las lombrices, que son más abundantes que en suelos labrados, a los planos de debilidad que se desarrollan cuando el suelo se seca y a los canales formados por las raíces del cultivo previo que no son destruidos por las labranzas y que pueden conducir a una orientación preferentemente vertical y continua de los poros más grandes, compensando su número reducido

En general, los suelos con siembra directa presentan mayor velocidad de infiltración que los suelos con labranza convencional. Este comportamiento ha sido atribuido a la mayor continuidad de los poros que no son destruidos por las labranzas y a la disminución del encostramiento superficial por el efecto protector de la cobertura de rastrojos en suelos franco limosos (Baeumer et al, 1973).

Forsythe et al (1979) en un experimento de invernadero en macetas en el CATIE , Turrialba, Costa Rica, reportaron que la producción de grano, materia seca de la parte aérea y de raíces de *Phaseolus vulgaris* L., variedad 27-R, aumentó cuando la resistencia a la penetración a capacidad de campo en las capas de 0-25 cm o 12.5-25 cm fue aumentada a 6-10 bares. Esto se atribuyó a mejor contacto entre las raíces y el suelo. Aumentos adicionales de resistencia a la penetración hasta 21 bares redujeron los rendimientos (en aproximadamente 50%) y el crecimiento de la parte aérea y de raíces.

Un aspecto donde casi siempre se ha observado efectos beneficiosos de cultivos en callejones es en el control de erosión. Reducciones considerables han sido reportados para callejones de *Leucaena* y *G. sepium* en África (Lal, 1989d), de *Leucaena* y *Eucalipto* en la India (Ghosh et al., 1989) y *Gliricidia sepium* en Colombia. En un suelo muy poco erosivo, Lebeuf (1993) observó una reducción en la pérdida de suelo con callejones de *Erythrina fusca* en Costa Rica.

2.4 Extracción de fósforo con ácido tricloroacético y agua a temperatura ambiente.

Bastantes procedimientos de fraccionamiento han sido usados para estudiar la dinámica del fósforo durante la descomposición de la hojarasca (Ryan et al., 1989). El uso del fraccionamiento tiene como propósito identificar las formas y cantidades de fósforo disponible que podrían dominar en el corto tiempo el proceso de ciclaje de fósforo. Se conoce que los tejidos de las plantas cultivadas y pastos acumulan gran cantidad de fósforo inorgánico. Por ejemplo Birch (1961), estudio una especie agrícola de Kenya y encontró que el fósforo inorgánico extraído en agua fue 40% del fósforo total del tejido. Ha sido menos reconocido que los árboles acumulan altas concentraciones de fósforo inorgánico en las hojas y follaje senescente. Uno de los pocos estudios en especies forestales es el de Carlyle y Malcolm (1986), quienes encontraron que el agua extrae 47% del fósforo total en hojarasca de *Larix spp.*, todo como fósforo inorgánico.

Polglase et al (1992) en un análisis de fósforo inorgánico y fósforo orgánico mediante el procedimiento de extracción secuencial de TCA frío y caliente, reportó que el fósforo inorgánico fue cerca del 40% del fósforo total en el horizonte Oi en la parcela control y cerca del 75% del fósforo total en parcelas fertilizadas, en plantaciones de pino. La adición de fertilizante causó la concentración de fósforo en el horizonte Oi cerca del doble, este incremento fue causado por la acumulación de fósforo inorgánico. El fósforo total decreció entre el horizonte Oi y Oei de hojarasca, indicando la gran liberación neta de

fósforo durante las primeras etapas de descomposición . Esta reducción en el fósforo total fue principalmente provocada por reducción en el fósforo inorgánico.

III- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Descripción del sitio experimental.

El ensayo esta ubicado en el campo experimental “La Montaña” del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, situado geográficamente entre los 9° 53’ de latitud norte y 83° 43’ de longitud Oeste, con una altitud de 602 msnm. La zona de vida está clasificada como bosque muy húmedo premontano (Holdridge, 1987). La temperatura media anual es de 21.5°C y la precipitación media anual de 2623 mm, con un período de menor precipitación en los meses de enero a abril (Estación agroclimatológica del CATIE).

De acuerdo con Kass et al., (1989) el suelo es de origen aluvial con una textura media arcillosa en los primeros 15cm, clasificado como un Typic humitropepts, fino, hallosytico, isohipertérmico. El contenido de materia orgánica es alto y la capacidad de intercambio catiónico está entre 40 y 50 cmol(+)/kg de suelo (Informe del proyecto árboles fijadores de nitrógeno) La topografía es plana; presenta algunos problemas de exceso de humedad que se han reducido mediante la construcción de drenes.

3.1.2 Materiales de campo y laboratorio

Los materiales que se utilizaron en el laboratorio para los análisis de las propiedades químicas del suelo son los equipos convencionales que se utilizan para este tipo de análisis.

Los materiales que se utilizaron en el campo para la determinación de las propiedades físicas del suelo son los siguientes:

- Tubo tipo Veihmeyer para perforar el suelo
- Bolsas y etiquetas para tomar muestras
- Barrenos

- Muestreador tipo Uhland para densidad aparente
- Penetrómetro de pistón tipo estático
- Permeámetro de carga constante (Forsythe, 1985).
- Anillos especiales para tomar muestra para retención de humedad

3.2 Metodología

3.2.1 Manejo del experimento.

El experimento fue establecido en el área de cultivos lote N° 7 en la “Montaña”, a principios del año 1990, con maíz-frijol en cultivo en callejones con tres especies arbóreas. El diseño fue bloques al azar.

Las especies arbóreas utilizadas fueron:

- *Gliricidia sepium* (Jacquin) Steud, (madero negro) material proveniente de cercas vivas de Guápiles, en Costa Rica. Es un árbol mediano, de 10-12 metros de alto, copa extendida y rala, el tronco torcido y muy ramificado. En buenas condiciones produce grandes cantidades de follaje. Puede completar o hasta sustituir el abono químico, producir entre 5 y 15 toneladas de materia seca por hectárea.

- *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook, “poró” (clon, 2708), proveniente del banco clonal del Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno (AFN) de San Juan Sur, Turrialba, en Costa Rica. Es un árbol grande, de hasta 35 metros de alto, crece bien en terrenos húmedos en zonas cálidas. Produce gran cantidad de follaje, pierde las hojas en la estación seca y tiene raíces muy superficiales. No resiste fuertes vientos y sus ramas son quebradizas.

- *Calliandra calothyrsus* Meissn, (calliandra) material propagado en el vivero del CATIE. Es un arbusto pequeño, generalmente no pasa de 4-5 metros de alto, pero en condiciones muy buenas puede alcanzar 12 metros, es de rápido crecimiento y gran capacidad de rebrote.

En los 6 años del experimento se han hecho muestreos del suelo dos veces al año (diciembre y junio), a una profundidad de 0-20cm en cada tratamiento con la finalidad de analizar el contenido de N,P,K,Ca,Mg, y materia orgánica. Previo a la siembra del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en diciembre y Maíz (*Zea mays* L.) en junio, se realizaba la

poda de los rebrotes, incorporando la biomasa al sistema. Durante este periodo del experimento nunca se ha utilizado fertilizantes químicos

En los dos últimos años del experimento se adicionó otro tratamiento que corresponde al tipo de labranza utilizado.

3.2.2 Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con parcelas divididas en el tiempo y tres repeticiones, para la evaluación de los cambios en las propiedades químicas. La parcela grande corresponde a las especies arbóreas y monocultivo; y la subparcela a las fechas de toma de muestra

Para el análisis de los cambios en las propiedades físicas del suelo durante los 6 años del experimento se utilizó el diseño de bloques al azar con parcelas divididas en el espacio, los análisis físicos se hicieron en el sexto año y la comparación de los cambios en las propiedades físicas se hicieron con relación al control que no tiene árboles. En este caso la parcela principal corresponderá a las especies arbóreas, con un área de 384 m² y la subparcela al tipo de labranza, con área de 192 m².

Cada unidad experimental tiene 51, 27 y 15 árboles para *G. sepium*, *C. calothyrsus* y *E. poeppigiana* respectivamente, distribuidos en tres hileras de árboles a un distanciamiento de 6x0.50 m, 6x1 m, 6x2 m respectivamente, en dos callejones de 6 x 8 m cada uno.

El modelo estadístico que se utilizó para la interpretación de los cambios en las propiedades químicas es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij} + f_k + (\tau f)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación de la subparcela en el nivel k, y dentro de la parcela grande en su nivel j, en la repetición i

μ = Efecto de la media general

β_i = Efecto de la repetición i

τ_j = Efecto de la especie arbórea j

ε_{ij} = Error experimental para parcelas grandes

f_k = Efecto de la fecha de toma de muestra

$(\tau f)_{jk}$ = Efecto de la interacción de las especies arbóreas j por la fecha de toma de muestra k

ε_{ijk} = Error de subparcelas (fecha de toma de muestras)

El modelo estadístico que se utilizó para la interpretación del experimento en el caso de las propiedades físicas es el siguiente:

$$Y_{ijk\lambda} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij} + G_k + (\tau G)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + \eta_{ijk\lambda}$$

Donde:

$Y_{ijk\lambda}$ = observación de la subparcela en el nivel k, y dentro de la parcela grande en su nivel j, en la repetición i

μ = efecto de la media general

β_i = efecto de la repetición i

τ_j = efecto de la especie arbórea j

ε_{ij} = error experimental para parcelas grandes(especies)

G_k = efecto del método de labranza

$(\tau G)_{jk}$ = efecto de la interacción de la especie j por el método de labranza k

ε_{ijk} = error de subparcelas (método de labranza) en todo el experimento

$\eta_{ijk\lambda}$ = efecto de la submuestra λ tomada en la unidad experimental ijk en la especie arbórea j y método de labranza k

Finalmente se analizó cada una de las variables de respuestas, utilizando análisis de varianza. Los promedios de los efectos principales de las variables con diferencias significativas se compararon por medio de pruebas de Tukey y para determinar la significancia en las interacciones se utilizó el LS MEANS de SAS (Least Squares Means). También se utilizaron correlaciones parciales.

3.2.3 Tratamientos

Se evaluarán 8 tratamientos, los cuales fueron distribuidos al azar dentro de las unidades experimentales, que corresponden a los siguientes:

- 1- C. calothyrsus con labranza
- 2- “ “ sin labranza
- 3- G. sepium con labranza
- 4- “ “ sin labranza
- 5- E. poeppigiana con labranza
- 6- “ “ “ sin labranza
- 7- Monocultivo con labranza
- 8- “ “ sin labranza

3.2.4 Variables de respuesta.

Las variables de respuestas evaluadas en cada tratamiento son las siguientes:

a. Propiedades químicas:

Contenido de N, P, K, Ca, Mg disponible, pH, y materia orgánica en el suelo, fósforo disponible en el follaje del cultivo de frijol y la extracción de fósforo en el follaje de las especies arbóreas utilizadas.

Para los análisis químicos se utilizaron metodologías estándar (Díaz-Romeu y Hunter, 1978). El fósforo disponible en el suelo se determinó por colorimetría; los elementos Ca, Mg, y K, se extrajeron con cloruro de potasio y se midieron en un espectrofotómetro Perkin Elmer. El N se determinó por microKjeldahl y el carbono orgánico por combustión húmeda.

b. Propiedades físicas del suelo

- Densidad aparente
- capacidad de retención de humedad
- Distribución de tamaños de poros
- Conductividad hidráulica saturada
- resistencia a penetración del suelo

- Porosidad total
- Capacidad de agua disponible(AWC)

La densidad aparente ($t\ m^{-3}$) se midió por el método del cilindro de volumen conocido, se usó un muestreador tipo Uhland con cilindro de 5,4 cm de diámetro por 6.0 cm de largo (Forsythe, 1985).

Distribución del tamaño de poros (μm) por el método de desabsorción de agua, aplicando la ecuación de Kelvin (Danielson y Sutherland, 1986), se usaron anillos especiales de 3.5 cm de diámetro y 1.0 cm de largo, para tomar la muestra de suelo que se colocaron sobre platos porosos de cerámica e introducidas en ollas de presión para determinar contenido de agua volumétrica a tensiones de 1, 10, 33, 100, 500 y 1500 kPa (Forsythe, 1985).

Conductividad hidráulica saturada(cm/h) por el método del permeámetro de carga constante, se usará un muestreador tipo Uhland con cilindro de 7.59 cm de diámetro y 7.62 cm de largo para tomar muestras no disturbadas (Klute et al, 1986; Forsythe, 1985)

La porosidad total (St), se calculó a partir de la densidad aparente, determinando la densidad de partículas por el método del queroseno. La capacidad de agua disponible (AWC), se calculó de la sustracción del contenido de agua volumétrica a 1500 kPa (Punto de marchitez permanente) al contenido de agua volumétrica a 33 kPa (Capacidad de campo)

La resistencia a la penetración ($kg\ cm^{-2}$), se midió con el penetrómetro de pistón tipo estático; se midió la humedad del suelo al momento de medir esta variable (Forsythe, 1985).

3.3 Procedimiento para la extracción de fósforo en TCA frío y caliente y agua a temperatura ambiente (Polglase et al, 1992).

1- Se Pesaron 0.4 gramos de muestra de hojas secadas a $65^{\circ}c$ y se colocaron en tubo de centrifuga de 50 ml luego se le adiciono 10 ml de TCA frío a $4^{\circ}c$ 0.30 M.

2- Se mantuvieron a $4^{\circ}c$ durante 1 hora, agitando 1 minuto cada 10 minutos

- 3- Se filtro el contenido del tubo de centrifuga y luego se lavo el residuo con 10 ml de TCA frío y se recogió este supernatante en el tubo de centrifuga, luego se trasvasó este filtrado a un biker de 50ml del cual se tomaron 4ml y se colocaron en un balón de 50ml.
- 4- Luego se le adiciono una gota de p-nitrofenol, 3 gotas de hidróxido de sodio y el reactivo B de color
- 5- Luego se midió el contenido de fósforo por el método colorimetrico de MURPHY AND RAILLY
- 6- Las siguientes extracciones (TCA caliente y agua a T° ambiente) en este procedimiento secuencial es idéntica a la primera excepto que se usa TCA 0.15 M en vez de TCA 0.30 M y la extracción se hace con TCA a 90°C durante una hora y agua a Temperatura ambiente.
- 7- El fósforo total y el fósforo orgánico se determinó por medio de digestión con ácido sulfúrico

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Propiedades Químicas del suelo.

El resultado de 6 años de análisis químico, muestra que las propiedades químicas del suelo han permanecido estable en el tiempo y entre los diferentes tratamientos, no se observan diferencias estadísticas significativas de los cultivos en callejones en comparación con el control sin árbol.

4.1.1 Contenido de Fósforo disponible

Los resultados de 6 años de análisis químicos se resumen en el cuadro 1, y figura 1, donde se puede observar que el contenido de fósforo en el suelo permanece estable en el transcurso del tiempo y entre los diferentes tratamientos utilizados en comparación con el testigo sin árboles.

Cuadro 1. Cambios en el contenido de fósforo disponible (mg/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Años					Balance (mg/l)
	91	92	93	94	95	
Calliandra	8.200a	8.567a	7.900a	8.937a	8.997a	+0.797
Erythrina	7.400ab	9.000ab	11.433b	6.343a	8.423ab	+1.023
Gliricidia	7.733a	7.800a	9.100a	7.353a	8.007a	+0.274
Testigo	6.667a	7.933a	9.100a	6.543a	6.680a	+0.013

Medias con las mismas letras en las filas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$)

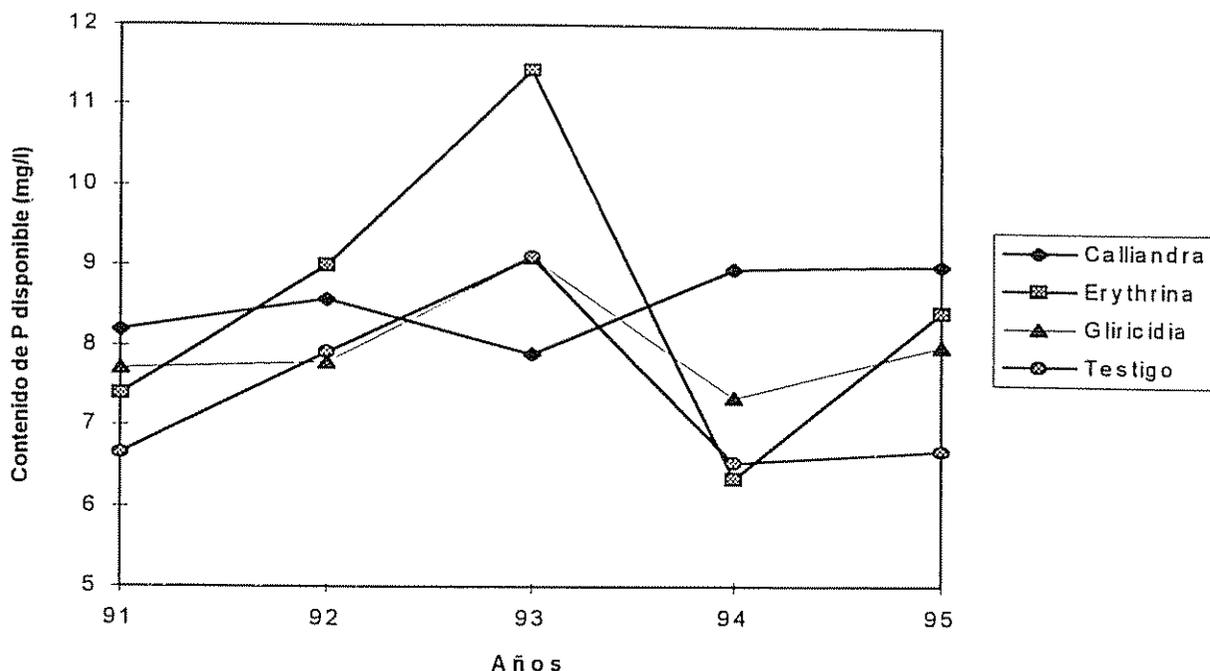


Figura 1. Comportamiento del fósforo disponible en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.

Aunque se presenta un ligero aumento del contenido de fósforo disponible, no hay diferencia estadísticamente significativa de los cultivos en callejones con relación al testigo sin arboles, el mejor desempeño fue para el tratamiento con Erythrina y el valor mas bajo para el testigo. Se observa un efecto significativo del tiempo sobre el contenido de fósforo en el tratamiento con Erythrina, pero este no es consistente. No se comprueba estadísticamente efecto de la interacción árbol x tiempo (ver anexo). En consecuencia, en todos los tratamientos, el comportamiento de las reservas de fósforo, en los 6 años del experimento es casi-igual. Esta tendencia en el contenido de fósforo en el año 93 para todos los tratamientos excepto calliandra puede atribuirse a la liberación de nutrientes que se producen con la biodegradación de la hojarasca sobre el horizonte A, cambios de las formas de fósforo en el suelo, y la alta eficiencia de las especies arbóreas utilizadas en el biociclaje de fósforo, retornando este elemento con la poda del follaje. Otros autores han reportado un aumento de P del suelo bajos sistemas agroforestales (Kass et al, 1989; Sánchez, 1989)

Estos resultados son similares a los reportados en Yurimaguas por (Szott, 1991; Salazar et al , 1993), quienes encontraron pocas diferencias en los niveles de fósforo en las parcelas con cultivos en callejones y los controles sin fertilizar en un suelo infertil.

4.1.2 Nitrógeno

En el cuadro 2 se presenta el contenido de N del suelo , para cada año y tratamientos a la profundidad de 0-20cm Igual que los otros nutrimentos no se presentan diferencias estadísticas significativas en el transcurso del tiempo y entre los tratamientos, asimismo la interacción árbol x tiempo no fue significativa (ver anexo) El resultado de los 6 años de investigación de cultivos en callejones con una rotación Maíz-Frijol, no muestra la capacidad de los árboles para aumentar las reservas de nitrógeno en el suelo en comparación con el monocultivo de frijol (fig 2) Aún cuando los estudios realizados por Sánchez (1989), en un sitio adyacente, han demostrado que la cantidad de nitrógeno reciclado por los árboles es superior en más de 2 veces a la cantidad de N extraído por el frijol, no se observó acumulación de este nutrimento en el suelo

Cuadro 2. Cambios en el contenido de nitrógeno (%), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Años				Balance (%)
	91	92	94	95	
Calliandra	0.270a	0.230a	0.260a	0.267a	-0.003
Erythrina	0.277a	0.240a	0.270a	0.277a	0.00
Gliricidia	0.250a	0.250a	0.297a	0.290a	+0.04
Testigo	0.270a	0.230a	0.270a	0.263a	-0.007

Medias con las mismas letras no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$)

En comparación con los promedios generales registrados en el primer año (0.270, 0.277, 0.250, 0.270), se registra una ligera disminución de N para los tratamientos con Calliandra y el testigo, mientras que el tratamiento con gliricidia registró un pequeño

aumentos en el contenido de N, en tanto que el tratamientos con Erythrina mantuvo estable el contenido de N en el suelo. La estabilidad en el contenido de N se puede explicar por que en el proceso de descomposición del material de la poda depositado sobre el suelo, hay grandes pérdidas de nitrógeno en el sistema, ya sea por volatilización o lixiviación.

Estos resultados son similares a los reportados por Kass *et al.*, (1989), quienes indican la disminución del N en el suelo bajo sistemas agroforestales, utilizando poró como árboles de sombra. En este sentido Hagggar *et al.*, (1991) y Mazzarino *et al.*, (1993), demostraron que muy poco del nitrógeno que se aplicó con el material de poda apareció en los cultivos, Hagggar concluyó que el mayor beneficio del cultivo en callejones viene de la acumulación lenta de las fracciones orgánicas.

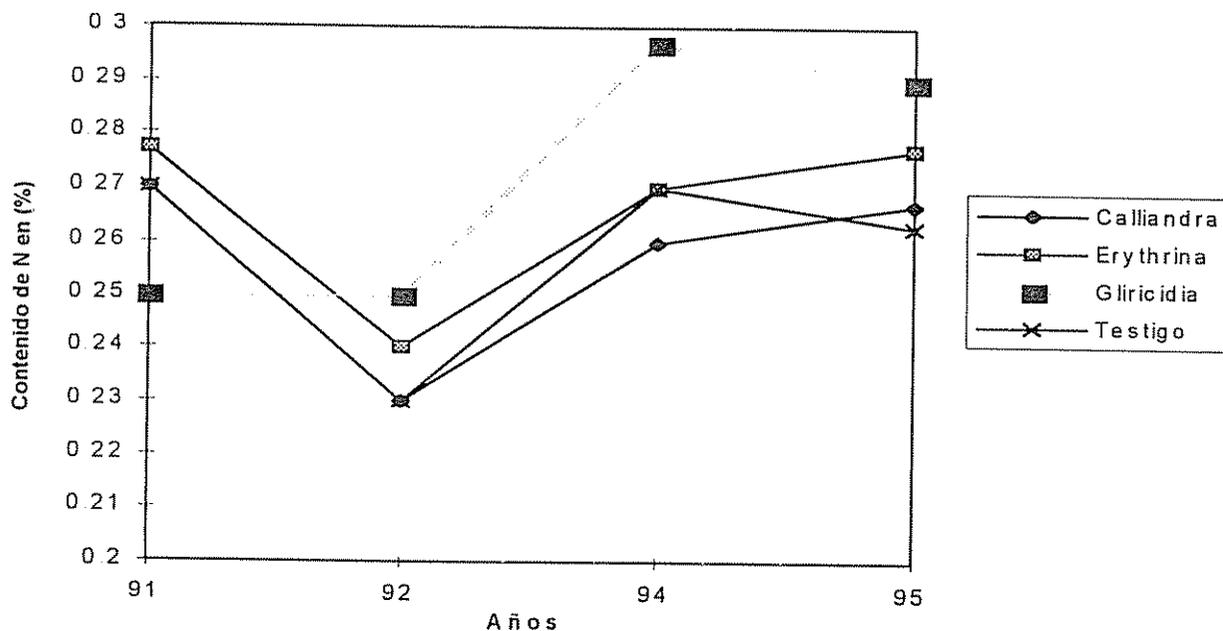


Figura 2. Comportamiento del nitrógeno del suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.

4.1.3 Potasio

En el cuadro 3 y figura 3 se resumen los resultados del análisis de suelo de 6 años de investigación en cultivos en callejones, donde se observa que en el transcurso de este tiempo

no se han producido cambios estadísticamente significativos en el contenido de potasio en el suelo, tampoco existen diferencias significativas entre los cultivos en callejones en comparación con el testigo sin árboles. La interacción árbol x tiempo no tiene efecto significativo en el contenido de potasio en el suelo (ver anexo). Con excepción del tratamiento con Erythrina se presenta un balance positivo en el suelo relacionando el primer año con el último. Otros autores (Lal, 1989; Sánchez, 1989), han reportado aumentos en el contenido de K del suelo en los sistemas de cultivos en callejones. Es posible que el leve aumento de potasio registrado en los tratamientos con Gliricidia y Calliandra se debe a la eficiencia de esta especie en el biociclaje de este nutrimento en el suelo. En un estudio realizado en plantaciones de Teca y Gmelina arbórea en la India se determinó un aumento en las bases totales en el suelo, sin embargo el contenido de K disminuyó (Chijoke, 1980). Por otro lado aumentos en el nivel de K han sido reportado en el cultivo en callejones por (Kang et al, 1985; Yomoah et al, 1986).

Cuadro 3. Cambios en el contenido de Potasio (cmol/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Años					Balance (cmol/l)
	91	92	93	94	95	
Calliandra	0.193a	0.240a	0.330a	0.303a	0.320a	+0.127
Erythrina	0.363a	0.310a	0.277a	0.297a	0.323a	-0.040
Gliricidia	0.223a	0.273a	0.320a	0.270a	0.553a	+0.330
Testigo	0.140a	0.363a	0.387a	0.243a	0.190a	+0.050

Medias con las mismas letras no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$)

El alto contenido de potasio (0.55), observado en el año 95 se debe posiblemente a un error de muestreo y a errores en los análisis y mediciones de laboratorio.

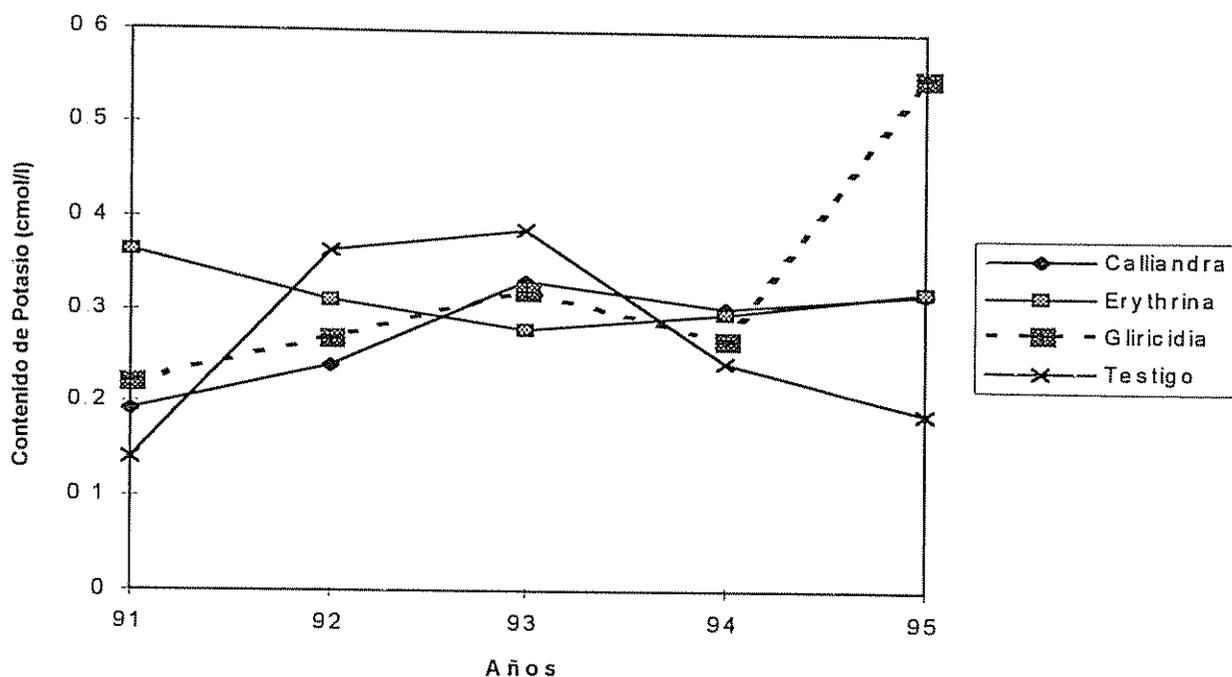


Figura 3. Comportamiento del potasio en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.

4.1.4 Calcio

Unas de las principales ventajas que se le atribuyen a los sistemas agroforestales de cultivos en callejones, es que pueden absorber grandes cantidades de nutrientes de los horizontes profundos y reciclarlos a través de la caída y descomposición de la hojarasca (Young, 1989). El resultado del análisis de 6 años de investigación en cultivos en callejones reporta que los árboles no aumentaron las reservas de calcio del suelo en relación con el testigo sin arboles (cuadro 4). El comportamiento de cada uno de los tratamientos es similar en todos los años (fig. 4). No se comprueba estadísticamente interacción árbol x tiempo (ver anexo). Por el contrario se observó una ligera disminución en el contenido de calcio en todos los tratamientos, correspondiendo la mayor disminución al tratamiento con Erythrina (fig. 4). La reducción en el contenido de calcio puede ser provocado por la baja eficiencia de las especies arbóreas utilizadas en acumular y retornar este elemento con la caída del follaje.

Cuadro 4. Cambios en el contenido de Calcio (cmol/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Años					Balance (cmol/l)
	91	92	93	94	95	
Calliandra	5.873a	6.267a	6.857a	5.260a	5.847a	-0.026
Erythrina	6.150a	6.330a	6.030a	5.117a	5.07a	-1.08
Gliricidia	6.373a	6.070a	6.297a	5.170a	5.847a	-0.526
Testigo	5.593a	6.333a	6.137a	5.487a	4.990a	-0.603

Medias con las mismas letras no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$).

En Nigeria, Lal (1989), observó también que el calcio disminuye bajo sistemas de cultivos en callejones utilizando *Leucaena* y *Gliricidia* como árboles de sombra. Por otro lado, Szott (1991) y Salazar et al, (1993), encontraron pocas diferencias en los niveles de calcio en las parcelas con cultivos en callejones y los controles no fertilizados en un suelo infertil. Resultados diferentes fueron encontrados por Hulugalle y NDI (1993), quienes reportan incrementos de Ca intercambiable en cultivos en callejones en comparación con el testigo trabajando en un suelo Typic Kandiudult en el Suroeste de Camerún. Es importante destacar que estos autores trabajaron en suelos de baja fertilidad, muy pobres en calcio. Esta disminución en el contenido de calcio representa una pérdida de fertilidad del suelo, provocado principalmente por percolación y lixiviación ya que el calcio es uno de los elementos más móvil en el suelo.

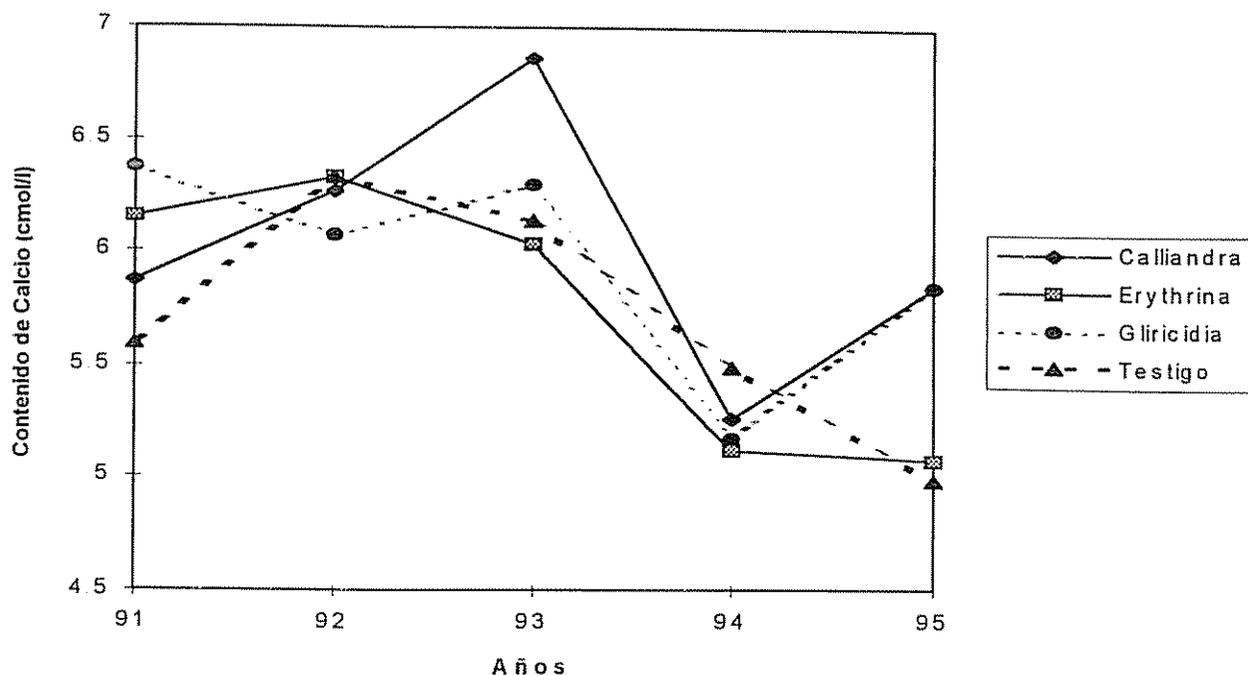


Figura 4. Comportamiento del calcio en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.

4.1.5 Magnesio

El comportamiento del contenido de Magnesio en el transcurso de los 6 años se puede observar en el cuadro 5, y figura 5. Los resultados del análisis de varianza muestran diferencia estadística significativa entre los tratamientos, correspondiendo el mejor desempeño al tratamiento con Gliricidia. También se comprobó efecto significativo del tiempo sobre el contenido de magnesio. La interacción especie arbórea x tiempo tubo efecto significativo en el contenido de Magnesio en el suelo (ver anexo). Por tanto, el comportamiento en las reservas de magnesio se modificó entre los tratamientos en el transcurso del experimento. Con excepción del tratamiento con Erythrina los demás tratamiento presentan un leve aumento en el contenido de este nutrimento, aunque los cambios no han sido relevantes (fig 5).

Cuadro 5. Cambios en el contenido de Magnesio (cmol/l), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Años					Balance (cmol/l)
	91	92	93	94	95	
Calliandra	1.353a	1.843a	2.537b	1.507a	1.373a	+0.02
Erythrina	1.527ab	1.760ab	1.907b	1.393ab	1.153a	-0.374
Gliciridia	1.253a	2.287bc	1.97cd	1.607ad	1.690ac	+0.437
Testigo	0.997a	2.007b	1.877b	1.500ab	1.283ab	+0.286

Medias con las mismas letras en las filas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$)

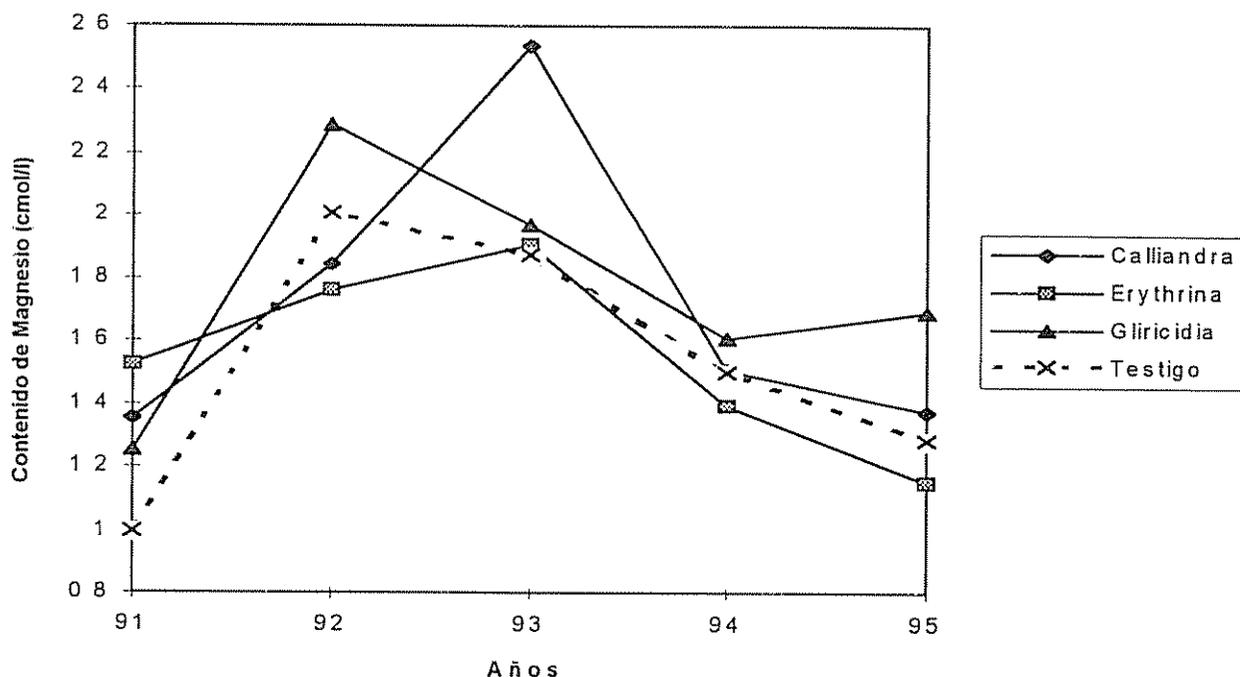


Figura 5. Comportamiento del magnesio en el suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.

Resultados similares han sido reportados por (Kass et al., 1989; Szott, 1991; Salazar et al., 1993). Trabajos del IITA han demostrado aumentos en el contenido de magnesio después de 6 años de cultivos en callejones

4.1.6 Materia Orgánica

Los resultados promedio de los análisis de suelos durante los 6 años para cada tratamientos se resumen en el cuadro 6. En cuanto al impacto de los factores especie arbórea y tiempo sobre el contenido de materia orgánica en el suelo, el análisis de varianza no arroja diferencias significativas entre las parcelas con árboles y las parcelas sin árboles. En cambio, el efecto del tiempo sobre el contenido de materia orgánica es significativo, aunque estos cambios no son consistente en el tiempo. Se comprueba estadísticamente efecto significativo de la interacción tiempo x árbol (ver anexo). En consecuencia, en todos los tratamientos, el comportamiento de las reservas de materia orgánica, en los 6 años del experimento es diferente. Todos los tratamientos excepto Gliricidia presentaron una leve reducción en el contenido de materia orgánica en el suelo (fig. 6). Esta diferencia de Gliricidia con los demás tratamientos es posiblemente consecuencia de mayor aporte de biomasa seca (ver anexo), y también resultado de tasas de descomposición de la hojarasca diferentes.

Cuadro 6. Cambios en el contenido de materia orgánica (%), en 6 años de cultivos en callejones. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Años					Balance (%)
	91	92	93	94	95	
Calliandra	5.407ab	4.813a	5.800b	5.617bc	5.040ac	-0.367
Erythrina	5.543a	5.210a	5.400a	5.890a	5.280a	-0.263
Gliricidia	4.923a	5.493ab	5.32a	6.133b	5.500ab	+0.577
Testigo	5.383ab	5.257ab	5.690ab	5.817b	5.013a	-0.37

Medias con las mismas letras en las filas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$).

Los resultados de los 6 años de investigación de cultivos en callejones, no muestran la capacidad de los árboles para aumentar las reservas de materia orgánica en el suelo, en

comparación con el monocultivo sin árboles. La falta de cambio en el contenido de materia orgánica se explica por el alto contenido inicial de materia orgánica de los suelos de La Montaña.

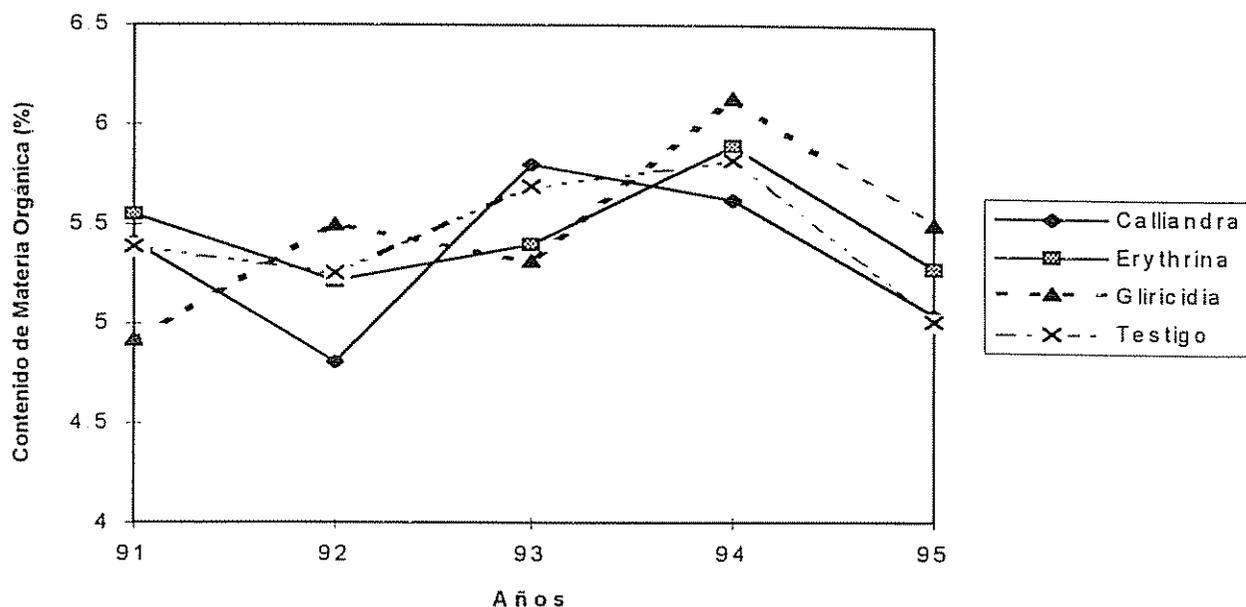


Figura 6. Comportamiento de la materia orgánica del suelo en el transcurso del ensayo para cada tratamiento.

Resultados similares son reportados por Marquez *et al.*, (1993), en plantaciones de Teca de 2 y 7 años de edad Dominique (1994), trabajando en cultivos en callejones usando poró a diferentes densidades de siembra en un sitio adyacente reportó disminución en el contenido de materia orgánica en el suelo en 9 años de cultivos. Estos resultados son diferentes a los reportados por el IITA, quienes reportan aumentos en el contenido de materia orgánica después de 6 años de cultivos en callejones

4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.

Es sabido que las propiedades físicas del suelo son importante como el nivel de nutrimentos en la fertilidad y producción de los cultivos, por tanto el conocimiento de las características de retención de humedad del suelo, movimiento del agua, y la disponibilidad de agua en el suelo tiene una gran importancia agrícola

4.2.1 curvas de retención de humedad del suelo.

Estas curvas permiten estimar la cantidad de agua que un suelo puede almacenar dentro de límites dados de succión. Las plantas cultivadas no tienen la capacidad de almacenar la cantidad de agua por ellas requerida, por lo que el suelo tiene que funcionar como tal para satisfacer ésta demanda. Los resultados para esta propiedad se presentan en el cuadro 7, donde se puede observar que en las tensiones de 1, 5, 10, 33, y 100 kPa no hubo diferencias estadísticamente significativa entre los cultivos en callejones y las parcelas sin árboles. No se comprueba estadísticamente efecto significativo de la labranza sobre la retención de humedad a estas tensiones. La interacción árbol x labranza tampoco tubo efecto significativo sobre la retención de humedad del suelo (ver anexo). En cambio el análisis de varianza arroja diferencias estadística significativa en retención de humedad a 1500 kPa entre los tratamiento con Calliandra sin labranza (0.3244) y el testigo con labranza (0.2785), con los demás tratamientos no hubo diferencias estadística. Hay efecto significativo de la labranza en la retención de humedad a 1500 kPa. También se pudo comprobar estadísticamente efecto de la interacción árbol x labranza. En sentido general los cultivos en callejones no afectaron la retención de humedad del suelo en comparación con el testigo, excepto en la retención a 1500 kPa.

Cuadro 7. Valores medios de retención de humedad y capacidad de agua disponible en (cm^3/cm^3), a diferentes presiones. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Presión en kPa						AWC cm^3/cm^3
	1	5	10	33	100	1500	
Calliandra CL	0.5022a	0.4431a	0.4162a	0.3594a	0.3477a	0.2929ab	0.067a
Calliandra SL	0.5114a	0.4484a	0.4322a	0.3702a	0.3655a	0.3244b	0.046b
Erythrina CL	0.4694a	0.4403a	0.4261a	0.3584a	0.3487a	0.2869a	0.072a
Erythrina SL	0.4916a	0.4539a	0.4342a	0.3744a	0.3565a	0.3013ab	0.073a
Gliricidia CL	0.4883a	0.4469a	0.4309a	0.3559a	0.3466a	0.2835a	0.072a
Gliricidia SL	0.4919a	0.4504a	0.4330a	0.3802a	0.3566a	0.3036ab	0.077a
Testigo CL	0.4943a	0.4395a	0.4228a	0.3644a	0.3509a	0.2785a	0.086a
Testigo SL	0.4719a	0.4340a	0.4080a	0.3662a	0.3573a	0.2932a	0.073a
C.V.	2.89	2.333	4.01	2.02	2.99	2.66	

** CL=con labranza, SL=sin labranza

Medias con las mismas letras en las columnas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$).

La labranza redujo la retención de humedad, debido a que disminuye la proporción de poros pequeño. Con relación al contenido de agua útil el testigo con labranza supero a los demás tratamientos, siendo el tratamiento de Calliandra sin labranza el inferior, no hubo diferencias estadísticamente significativa entre los demás tratamientos

Estos resultados son diferentes a los encontrados por Lal (1989d), quien reporta un mejoramiento significativo en el contenido de humedad disponible y humedad gravimétrica a cero succión, siendo los valores más bajo para los tratamientos sin labranza y los más altos para Gliricidia Lal (1989d), sostiene que la modificación en las curvas características de humedad por sistemas agroforestales son atribuida a mejoramiento en la estructura y la porosidad estructural del suelo

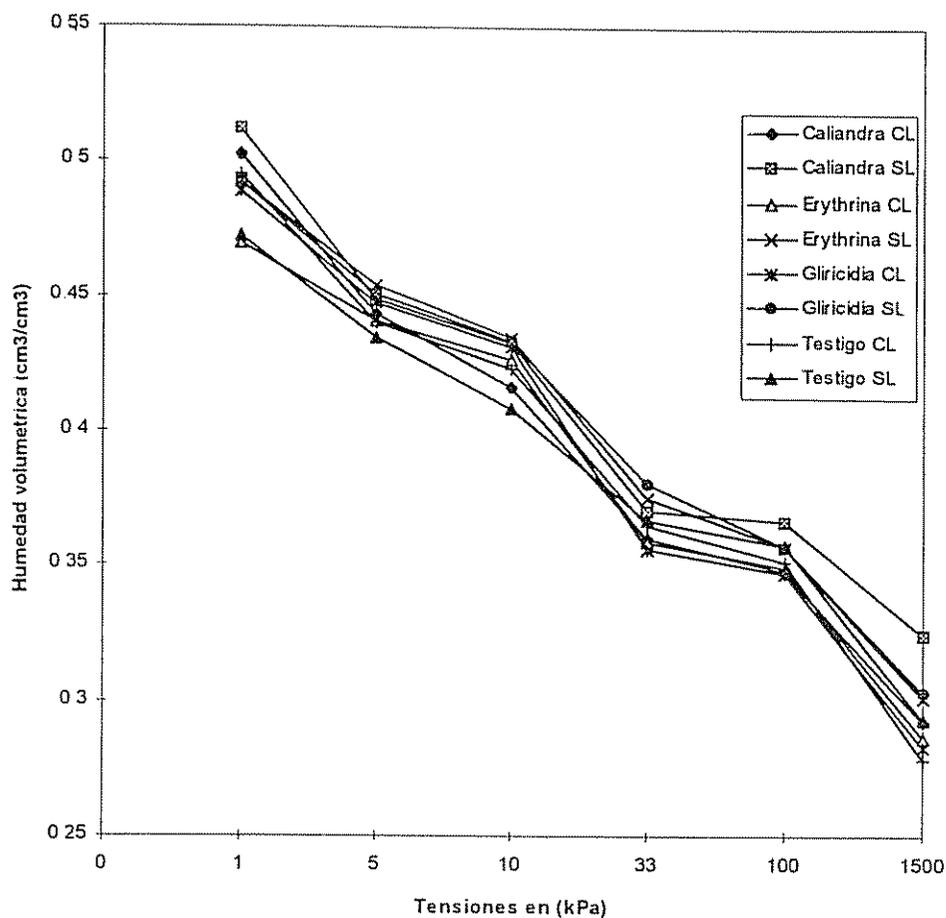


Figura 7. Curvas características de humedad del suelo en cultivos en callejones Vs testigo.

En este sentido, Rosecrance et al., (1992), reporta que los suelos con los tratamientos con cultivos en callejones de *Calliandra calothyrsus* y *Gliricidia sepium* mantienen significativamente más agua en el rango de 0.3 y 1 bar que los suelos control y que 4 años de aplicación de mulch mejoró la retención de agua y densidad aparente del suelo.

En la figura 7, se muestra la tendencia de las curvas de retención de humedad de los sistemas de cultivos en callejones con *Calliandra* y *Gliricidia* sin labranza contra el

tratamiento control y se observa que este ultimo presento la menor proporción de retención de humedad en la mayoría de las tensiones determinadas.

4.2.2 Distribución de poros.

La porosidad es una propiedad del suelo importante para el desarrollo de los cultivos, pero no solo la porosidad total, sino la distribución de los mismos ya que debe haber una proporción tal que permita el intercambio de gases con la atmósfera, el desarrollo de raíces, transmisión y retención de agua etc. En el cuadro 8 se presentan los valores de la distribución del tamaños de poros, donde se puede observar que no hubo diferencias estadística significativa entre los tratamientos en la porosidad total, pero si hay diferencias en la fracción de poros $<296\mu\text{m}$ entre el tratamiento con Calliandra sin labranza (0.8941) y el testigo (0.8216 y 0.8364), entre los demás tratamientos no hubo diferencias estadística significativa, aquí tampoco la interacción árbol x labranza tubo efecto significativo.

Cuadro 8. Distribución de espacio poroso por tratamiento. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Fracción de espacio poroso en μm						Porosidad total
	<296	<59	<29	<9	<3	<0.2	
Calliandra CL	0.8574ab	0.7565a	0.7106a	0.6136a	0.5936a	0.5001a	0.5857
Calliandra SL	0.8941a	0.7839a	0.7556ab	0.6472a	0.6390a	0.5671a	0.5720
Erythrina CL	0.7904b	0.7414a	0.7175a	0.6035a	0.5871a	0.4831a	0.5939
Erythrina SL	0.8429ab	0.7783a	0.7445ab	0.6420a	0.6113a	0.5166a	0.5832
Gliricidia CL	0.8194b	0.7500a	0.7231a	0.5972a	0.5972a	0.4758a	0.5959
Gliricidia SL	0.8574ab	0.7851a	0.8063b	0.6627a	0.6216a	0.5292a	0.5737
Testigo CL	0.8364b	0.7437a	0.7154a	0.6166a	0.5937a	0.4712a	0.5910
Testigo SL	0.8216b	0.7556a	0.7103a	0.6375a	0.6220a	0.5104a	0.5744

Medias con las mismas letras en las columnas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$).

En la fracción de poros $<29\mu\text{m}$ el tratamiento Gliricidia sin labranza superó significativamente al testigo, la Gliricidia con labranza, Erythrina con labranza y Calliandra con labranza, no existiendo diferencia con los demás tratamientos.

En las fracciones de poros <59 , <9 , <3 y $<0.2\mu\text{m}$ no hubo diferencias estadísticamente significativas, aunque los tratamientos con Calliandra sin labranza y Gliricidia sin labranza siempre superaron los demás tratamientos. La labranza aumentó la porosidad total, y la proporción de poros grandes ($>60\mu\text{m}$).

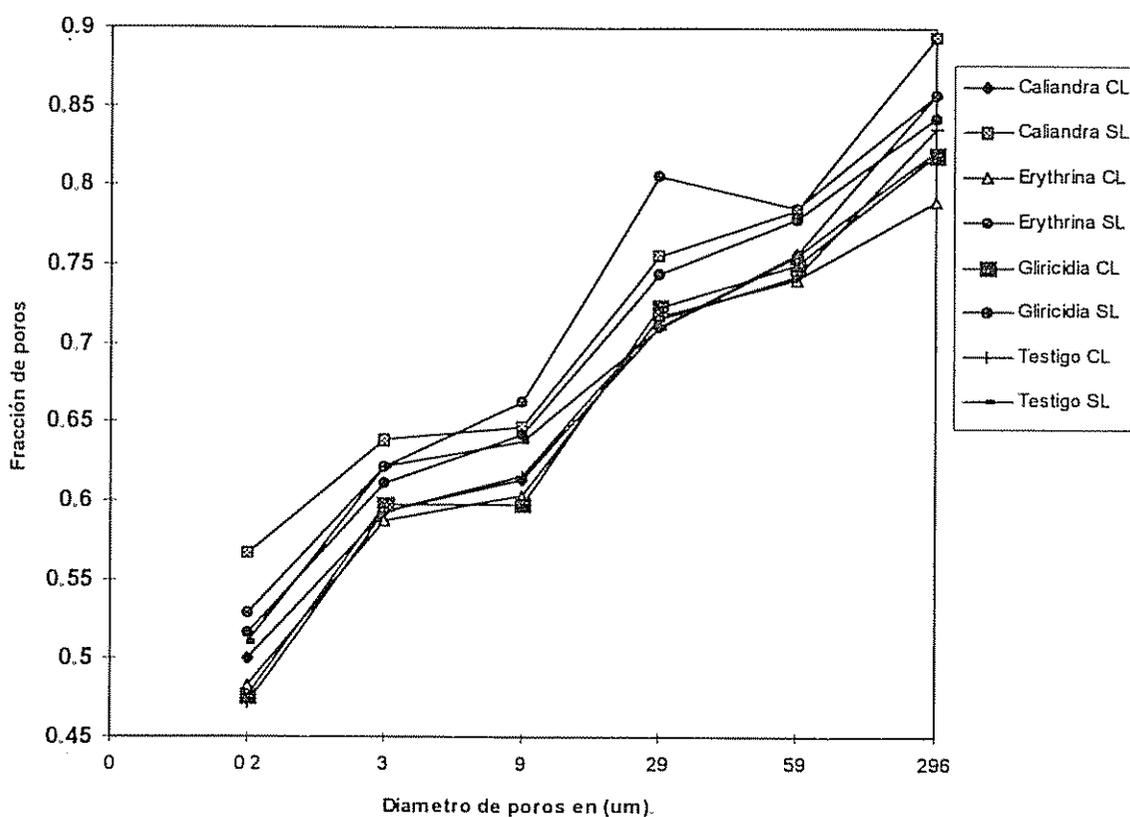


Figura 8. Distribución del tamaño de poros de los tratamientos de cultivos en callejones Vs testigo.

La figura 8 muestra la distribución de poros de los tratamientos de cultivos en callejones Vs el testigo, donde se observa que los tratamientos con Calliandra y Gliricidia sin

labranza fueron superiores en cantidad de poros de transmisión y almacenamiento, que son aquellos poros mayores de 30-60 μ m . Esto es muy importante , dado que el agua se mueve libremente solo a través de poros mayores a estos diámetro. Andriulo et al., (1988), reporta disminución en la frecuencia de poros mayores bajo labranza convencional hasta 10cm de profundidad

4.2.3 Conductividad hidráulica saturada.

La conductividad hidráulica es la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua. Los suelos para el buen desarrollo de los cultivos deben poseer la capacidad de drenar los excesos de agua para que se pueda mantener el intercambio de gases entre la atmósfera y el suelo

Cuadro 9. Conductividad hidráulica saturada en (cm/h), a la profundidad de 0-20 cm. La montaña, Turrrialba,1996.

Tratamientos	Conductividad en cm h ⁻¹
Calliandra CL	5 970a
Calliandra SL	7 677a
Erythrina CL	9 093a
Erythrina SL	7 167a
Gliricidia CL	12 463a
Gliricidia SL	12 153a
Testigo CL	6 280a
Testigo SL	10 043a
CV%	34.93

Medias con las mismas letras en las columnas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$).

En el cuadro 9 se presentan los valores promedios de conductividad hidráulica saturada de los tratamientos utilizados. Los resultados no muestran la capacidad de los

árboles para mejorar esta propiedad del suelo en comparación con el testigo sin árboles. El análisis de varianza para conductividad hidráulica, después de 6 años de cultivos en callejones, no arroja diferencias significativas entre las parcelas con árboles y las parcelas sin árboles. Tampoco hubo efecto significativo de la labranza sobre esta propiedad del suelo. No se comprueba estadísticamente efecto alguno de interacción árbol x labranza.

Resultados similares fueron reportado por Céspedes (1991), trabajando en la misma finca experimental. En este sentido, Andriulo *et al*, (1988), afirma que en general los suelos con siembra directa presentan mayor velocidad de infiltración que los suelos con labranza convencional. Esta situación es atribuida a los canales de las lombrices, que son más abundantes que en suelos no labrados, a los planos de debilidad que se desarrollan cuando el suelo se seca y a los canales formados por las raíces del cultivos previo que no son destruidos por las labranzas y que pueden conducir a una orientación preferentemente vertical y continua de los poros más grandes, compensando su número reducido.

4.2.4 Resistencia a penetración

En el cuadro 10 y la figura 9 se presentan los valores promedios de resistencia a penetración del suelo a la profundidad de 0-20 cm para todos los tratamientos. El análisis de varianza de resistencia a penetración del suelo después de 6 años de cultivos en callejones, no arroja diferencias significativas entre las parcelas con árboles y las parcelas sin árboles. En cambio, el efecto de la labranza sobre la resistencia a penetración es significativo, presentando los tratamientos con labranza menores valores de resistencia a penetración. Igual que las demás propiedades físicas, no se comprueba estadísticamente efecto de la interacción árbol x labranza.

Estos resultados son similares a los reportados por Andriulo *et al*, (1988), en un estudio de las propiedades físicas en dos sistemas de labranza, encontrando que en la labranza convencional hasta una profundidad de 10cm, la resistencia a penetración del suelo fue menor que en siembra directa. Howard *et al*, (1981) sugieren que el contenido de materia orgánica podría tener un efecto mayor que otro componente del suelo sobre la compactación del suelo. La falta de cambio en esta propiedad durante el transcurso de la

investigación se puede explicar por el alto contenido de materia orgánica de los suelos de La Montaña

Cuadro 10. Valor medio de resistencia a la penetración en (kg/cm^2) por tratamientos a profundidad de 0-20 cm. La Montaña, turrialba, 1996

Tratamientos	Resistencia a penetración (MPa)
Calliandra CL	0.19a
Calliandra SL	0.34bc
Erythrina CL	0.22ab
Erythrina SL	0.37c
Gliricidia CL	0.17a
Gliricidia SL	0.35c
Testigo CL	0.19a
Testigo SL	0.43c
CV%	13.50

Medias con las mismas letras en las columnas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$).

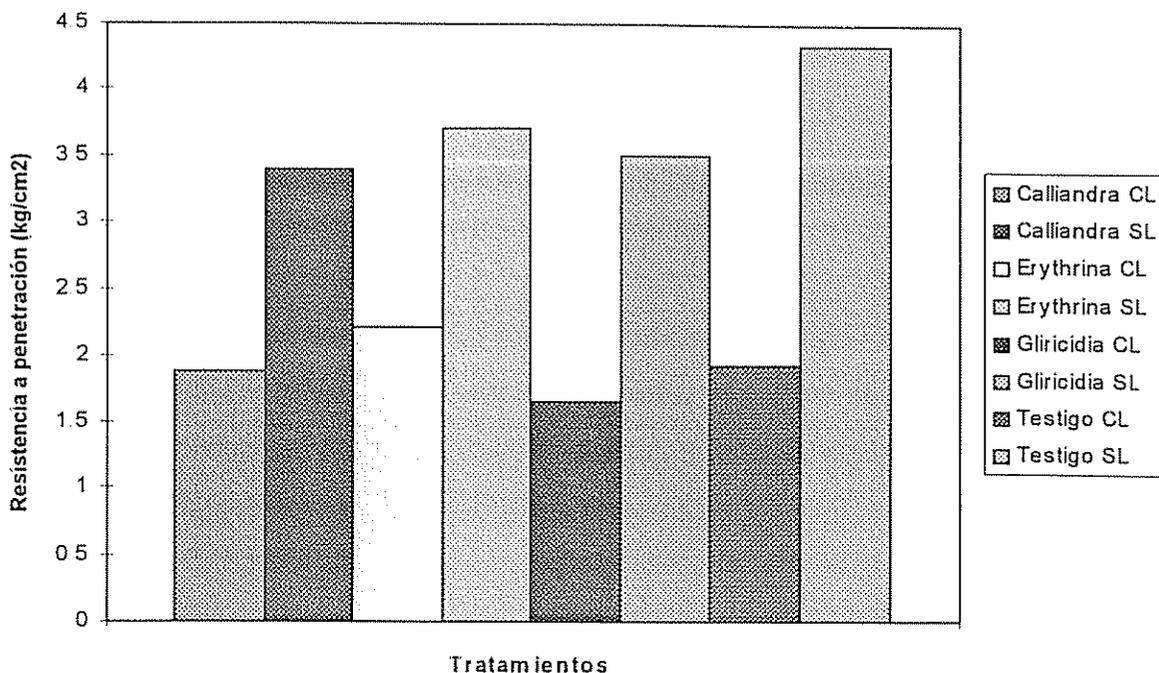


Figura 9. Resistencia a la penetración del suelo en cultivos en callejones con y sin labranza.

4.2.5 Densidad aparente y Densidad de partículas.

El cuadro 11 presenta los valores promedios de Densidad aparente y Densidad real del suelo a la profundidad de 0-20 cm, para los diferentes tratamientos utilizados. El análisis de varianza de estas propiedades del suelo después de 6 años de cultivos en callejones, no arroja diferencia estadística significativa en la densidad aparente entre las parcelas con árboles y las parcelas sin árboles. El efecto de la labranza tampoco fue significativo sobre la densidad aparente. En cambio, se encontraron diferencias significativas en la densidad real entre los tratamientos. El efecto de la labranza fue significativo sobre la densidad real, presentando los tratamientos sin labranza valores más bajos de densidad real. El cambio en la densidad real del suelo se atribuye al origen volcánico de estos suelos y el alto contenido de arcilla Halloysita que tienen propiedades tixotrópicas, lo cual los hace susceptibles a cambios en la densidad real. Esto puede explicar la mayor proporción de poros grandes y

medios de los tratamientos sin labranza. No se comprueba estadísticamente efecto alguno de interacción árbol x labranza para ningunas de las dos propiedades.

Cuadro 11. Densidad aparente y de partículas promedio por tratamientos de 0-20 cm de profundidad. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	Densidad aparente (ton m ⁻³)	Densidad real (ton m ⁻³)
Calliandra CL	1.063a	2.569ab
Calliandra SL	1.090a	2.547a
Erythrina CL	1.067a	2.627b
Erythrina SL	1.077a	2.583ab
Gliricidia CL	1.047a	2.590ab
Gliricidia SL	1.090a	2.557a
Testigo CL	1.057a	2.583ab
Testigo SL	1.087a	2.553a
CV%	3.97	0.78

Medias con las mismas letras en las columnas no son diferentes estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados similares fueron obtenidos por Lal (1989d), con cultivos de cobertura comparado con el control. Sin embargo, podemos señalar que la densidad aparente tiende a reducirse en los suelos tratados con enmiendas orgánicas, debido a que la materia orgánica es un factor principal que afecta la densidad aparente y tiene un efecto dominante sobre la misma. Otros autores han reportado disminución en la densidad aparente del suelo en cultivos en callejones.

4.3 Extracción de fósforo mediante el método del TCA frío, TCA caliente y H₂O a temperatura ambiente.

En el cuadro 12 y 13 se resumen los valores promedios de las diferentes formas de fósforo en la hojarasca extraído por los métodos de TCA frío, TCA caliente, y agua a temperatura ambiente. Los resultados muestran que del contenido de P total, solo un 33.70, 47.90, y 32.38% esta disponible para Gliricidia, Calliandra y Erythrina respectivamente. En este sentido las hojas de poró presentan el mayor contenido de fósforo fácilmente disponible (1020 mg/kg), que es el fósforo extraído con agua a temperatura ambiente (fig. 11). En cambio, el mayor contenido de fósforo extraído en TCA frío que es el fósforo moderadamente disponible es para las hojas de Calliandra (67 mg/kg) (fig. 11). Así mismo, las hojas de Calliandra presenta también el mayor contenido de P extraído por el método de TCA caliente (411 mg/kg), que es la forma de fósforo menos labil en la hojarasca. Con excepción de las hojas de Calliandra la mayor cantidad de fósforo disponible es extraído por el método de agua a temperatura ambiente, lo que nos indica que la mayor parte del fósforo en los diferentes componentes (hojas, tallos tiernos y leñosos), esta fácilmente disponible, lo cual puede tener implicaciones negativas a largo plazo en las reservas de fósforo en el suelo. Resultados similares han sido reportado por Polglase *et al*, (1992), trabajando en fraccionamiento de fósforo en la hojarasca de plantaciones de pino

Cuadro 12. Comparación de 2 métodos de extracción de fósforo, TCA frío , TCA caliente y H₂O, en las especies arbóreas utilizadas. La Montaña, Turrialba, 1996.

Tratamientos	P en H ₂ O		P en TCA frío		P en TCA caliente		P _{total} disponible	P _{total} (mg/kg)
	(mg/kg)		(mg/kg)		(mg/kg)			
	P _{inorg}	P _{org}	P _{inorg}	P _{org}	P _{inorg}	P _{org}		
Hoj Gliricid.	645.64	31.73	66.65	4.33	106.48	6.29	861.12	2555
Hoj Calliand.	300.62	16.29	67.04	11.52	411.09	8.93	815.48	1702
Hoj Erythrina	1020.4	51.99	45.27	5.89	117.13	8.58	1249.3	3857
TL Calliandra	346.69	15.27	60.26	2.10	224.62	3.39	652.32	1362
TL Gliricidia	372.80	19.16	60.40	2.07	210.03	3.24	667.70	1981
TL Erythrina	510.22	26.36	61.28	3.17	131.48	5.47	737.97	2279
TT Calliandra	508.71	24.72	61.21	2.65	133.11	2.85	733.25	1531
TT Gliricidia	703.44	33.31	44.58	2.49	124.56	5.04	913.42	2710
TT Erythrina	656.02	33.31	55.83	3.44	102.54	2.61	853.75	2637

Cuadro 13. Contenido de fósforo total (mg/kg) para las 3 especies utilizadas. Turrialba, C.R. 1996.

Especies arbórea	P _{total} (mg/kg)
Erythrina	8773
Calliandra	4595
Gliricidia	7246

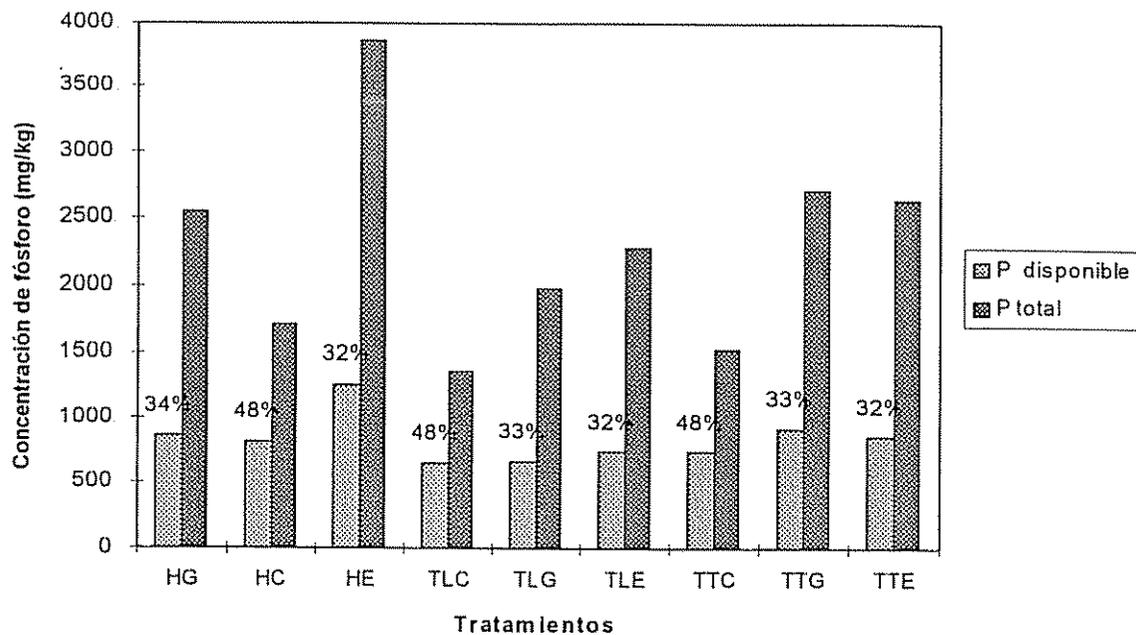


Figura 10. Contenido de Fósforo disponible y Fósforo total en la hojarasca de las especies arbóreas utilizadas.

**HG=Hojas Gliricidia, HC=Hoja Calliandra, HE=Hojas Erythrina, TL=tallo leñoso, TT=tallo tierno

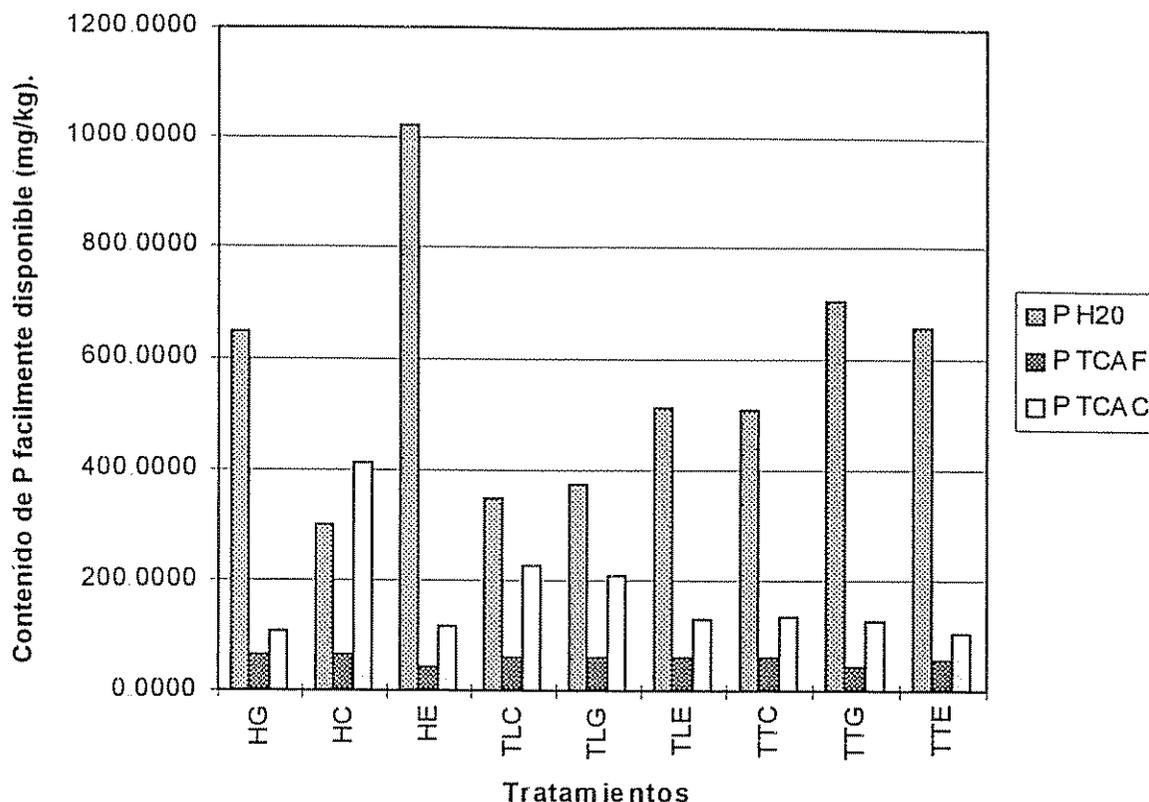


Figura 11. Comparación del fósforo extraído por medio de H₂O a temperatura ambiente, TCA frío y TCA caliente, en la hojarasca de las especies arbóreas utilizadas.

4.4 Relación entre el contenido de fósforo disponible en el follaje de las especies arbóreas utilizadas con el fósforo disponible en el suelo y el fósforo extraído por el cultivo, en sistemas de cultivos en callejones.

Se conoce que la liberación de fósforo es fuertemente afectada por la composición química de las hojas. Un análisis de correlación parcial muestra que el contenido de fósforo disponible en el suelo y el fósforo extraído por el cultivo de frijol están negativamente correlacionado ($r^{2=}$ -0.1075 y -0.0577)(cuadro 14) respectivamente, con el contenido de fósforo disponible en el follaje de las especies arbóreas utilizadas

Cuadro 14. Resultado del análisis de correlación parcial para el fósforo disponible en el follaje, fósforo disponible en el suelo y fósforo extraído por el cultivo. La Montaña, Turrialba, 1996.

Coeficiente de correlacion de Pearson		
	P disponible en el suelo	P extraído por el cultivos
P en el follaje	-0.1075	-0.05779
	0.7830	0.8826

****Ver datos en el anexo.**

Esto se atribuye a que el follaje de algunas especies se descomponen rápidamente liberando todo su fósforo y en un sistema agroforestal su beneficio puede ser de corto plazo, además de que el fósforo liberado puede ser perdido por inmovilización. La liberación lenta por algunas especies evita el riesgo de pérdida, pero puede conducir a deficiencias. El patrón de descomposición de la hojarasca determina el efecto de los residuos en el suelo. Residuos que se descomponen rápidamente como es el caso de la Erythrina pueden suplir una gran cantidad de nutrientes en periodos cortos de crecimientos de los cultivos, pero puede no contribuir mucho al mantenimiento de las reservas del suelo. Residuos de plantas que se descomponen lentamente como es el caso de la Calliandra pueden tener efectos opuestos, comparados con la que descomponen rápidamente.

La vida media de los materiales de la poda de Erythrina, en las condiciones de Turrialba, es de 26 días (Quiland, 1984). Por tanto, de estos resultados se puede decir que, posiblemente la disponibilidad de fósforo en el suelo aumenta en la fase de descomposición de los materiales de la poda; pero el muestreo de suelo realizado aproximadamente 6 meses después de la deposición de los materiales, difícilmente es capaz de indicar aumentos de este nutrimento en el suelo. Esto explicaría de algún modo, el mayor rendimiento en grano de frijol en las parcelas con árboles de poró, en comparación con el control sin árboles.

4.5 Rendimientos del frijol.

En el cuadro 15 se resumen los valores promedios de rendimiento de frijol para el ciclo diciembre-abril de 1996, al 15% de humedad. El análisis de varianza para la cosecha, arroja diferencias significativas entre los tratamientos, correspondiendo el mayor rendimiento a las parcelas con Erythrina sin labranza y los menores rendimiento al testigo con labranza. Esto se puede atribuir a la mayor liberación de nitrógeno de la Erythrina en la primera etapa de crecimiento del frijol. En general las parcelas con labranza presentaron los menores rendimientos. Se pudo comprobar que el cultivo de frijol no responde a la labranza en la época seca, pero si en el período húmedo. Esto se atribuye a que en el período húmedo la labranza mejora el drenaje y la porosidad del suelo provocando mejores condiciones de aereación, mientras que en la época seca esta mejoría en las condiciones físicas del suelo no son tan necesarias debido a que hay escases de agua. No se comprueba estadísticamente efecto de la interacción árbol x labranza. Un análisis de contraste ortogonal muestra que existen diferencia significativa ($p < 0.05$), entre los tratamientos con labranza y los sin labranza.

Cuadro 15. Rendimientos de frijol (kg/ha), en cultivos en callejones en el ciclo diciembre-abril de 1996, La Montaña, Turrialba.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)
Calliandra CL	393.3b
Calliandra SL	650.9ab
Erythrina CL	662.3ab
Erythrina SL	886.9a
Gliricidia CL	639.5ab
Gliricidia SL	603.2ab
Testigo CL	385.6b
Testigo SL	596.2ab
CV %	27.57

Otros autores han reportado mayores rendimientos en cultivos en callejones en comparación con el control sin arboles (Dominique, 1994; Kass et al, 1989). En este sentido Forsythe (1979), ha reportado incrementos en la producción de granos de frijol, cuando se aumentó la resistencia a la penetración a capacidad de campo en las capas de 0-25cm de 6-10 bares. Un análisis de correlación parcial (cuadro 16) muestra que la producción de frijol esta positivamente correlacionada con la resistencia a la penetración del suelo.

Cuadro 16. Resultado del análisis de correlación para resistencia a penetración y producción de frijol. La Montaña, turrialba, C.R. 1996.

Coeficiente de correlación de Pearson	
	Producción de frijol
Resistencia a penetración	0.5117
	0.1949

**ver cuadro 10 y 15.

Esto se atribuye a mejor contacto entre las raíces y el suelo. Esto explica la mayor producción de frijol de las parcelas sin labranza (fig 12), que son las que presentaron los mayores valores de resistencia a la penetración a capacidad de campo (fig 9).

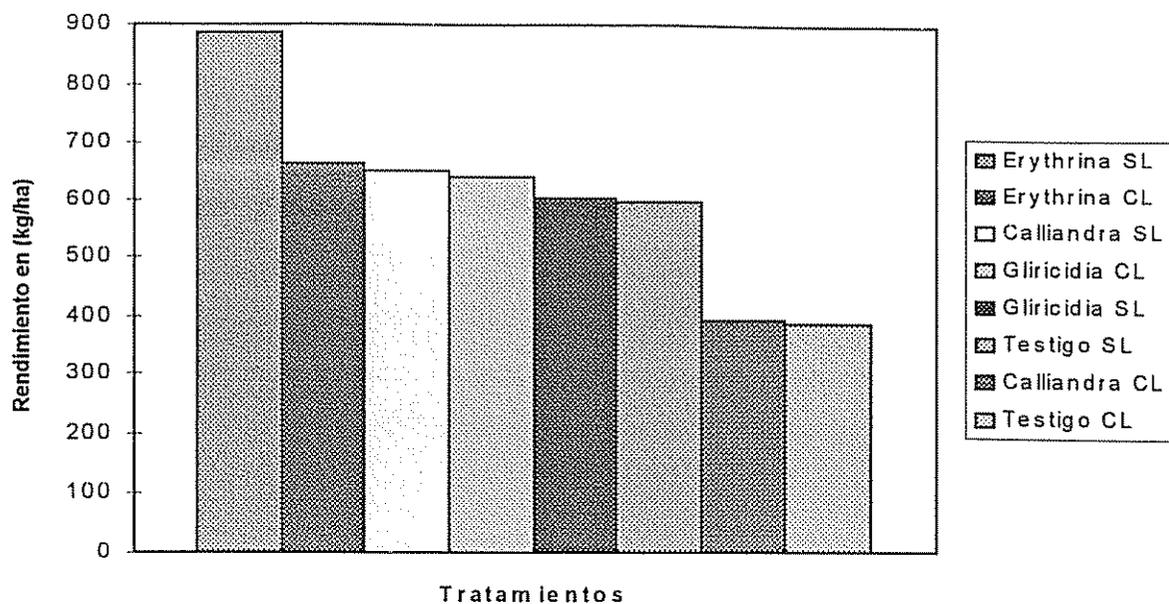


Figura 12. Rendimiento de frijol en cultivos en callejones, en el ciclo diciembre-abril, 1996.

V- CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos bajo las condiciones de este ensayo se llegó a las conclusiones siguientes:

- ◆ El reciclaje de nutrimentos por los árboles en el sistema de cultivos en callejones y el aporte de 20 ton/ha/año de biomasa seca, no mejoraron el contenido de nutrimentos del suelo en los 6 años de investigación, en comparación con las parcelas sin árboles.
- ◆ El aporte de nutrimentos por medio del material podado de las especies arbóreas no aumento la disponibilidad de fósforo para los cultivos asociado, en comparación con el monocultivo.
- ◆ La labranza no mejoró las características hidrológicas del suelo en comparación con las parcelas sin labranza
- ◆ Aunque no ocurrieron cambios importantes en las propiedades químico-físicas del suelo, los cultivos en callejones han mantenido las propiedades el suelo en un nivel adecuado, en comparación con el monocultivo
- ◆ La hojarasca de Erythrina es la que presenta los mayores contenido de fósforo total y fósforo fácilmente disponible. Mientras que Calliandra presentó el mayor contenido de fósforo moderadamente disponible
- ◆ La Erythrina tiene el mayor contenido de fósforo extraído en agua a temperatura ambiente y Calliandra presenta los mayores contenido de fósforo extraído por el método de TCA frío y caliente que es el fósforo menos disponible.

- ◆ Durante los 6 años de investigación de cultivos en callejones los rendimientos de las parcelas con árboles fueron siempre superiores al testigo sin árboles, correspondiendo al testigo con labranza los mas bajo rendimientos.
- ◆ En estas condiciones de suelos de mediana fertilidad , buenas propiedades físicas y planos , los cultivos en callejones no tienen efecto significativo sobre las propiedades del suelo. Su racionalidad en esta condiciones es como una estrategia para reducir la entrada de insumos externos al sistemas

VI- LITERATURA CITADA

- ANDRIULO, A.E.; ROSELL, R.A.** 1988. Propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. Turrialba 38(4):365-375
- BAEUMER, K.; BAKERMANS, W.A.P.** 1973. Zero tillage. Advances in agronomy 25:77-123
- BIRCH, H.F.** 1961. Phosphorus transformation during plant decomposition Plant soil 15:347-366
- CAMPBELL, B.M.; FROST, P.; KING, J.A.; MAWANZA, M.; MHLANGA, L.** 1994. The influence of trees on soil fertility on two contrasting semi-arid soil types at Matopos, Zimbabwe. agroforestry systems (Netherlands) 28(2):159-179.
- CARLYLE, J.C.; MALCOLM, D.C.** 1986. Larch litter and nitrogen availability in mixed larch-spruce stands I. Nutrients with drawal, redistribution and leaching loss from larch foliage at senescence. Can. J. For. Res. 16:321-326.
- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A.** 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químicos de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE 60 P
- DOMINIQUE, J.R.** 1994. Evaluación de la sostenibilidad agronómica financiera y económica de un sistema de cultivos en callejones asociando el Maíz (*Zea mays* L.) con poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook) plantado en diferentes densidades. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C. R. CATIE 105 p.
- FASSBENDER, H.W.** 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Serie Materiales de Enseñanza no. 29. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) 475 P.
- FERNANDES, E.C.M.** 1990. Alley cropping on Acid soils. Ph.D. Thesis. Department of soil science. North Carolina State University 157 p
- FORSYTHE, W.M.; HUERTAS, A.** 1979. Effect of soil penetration resistance on the growth and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L) 27-B variety. Turrialba 29:293-298.
- FORSYTHE, W.** 1985. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA. 212 p.
- HAGGAR, J.** 1990. Nitrogen and Phosphorus dynamics of systems integrating trees and annual crops. Ph.D. dissertation. St Johns College. University of Cambridge 160 p.

- HAGGAR, J.P.; WARREN, G.P.; BEER, J.W.; KASS, D.** 1991 Phosphorus availability under alley cropping and mulched and unmulched sole cropping systems in Costa Rica *Plant and Soil* 137():275-283
- HOLDRIDGE, L.R.** 1987. *Ecología basada en zonas de vida*, San José , Costa Rica. IICA. 216 p
- HULUGALLE, N.R.; NDI, J.N.** 1993 Effects of no-tillage and alley cropping on soil properties and crop yields in a Typic kandiudult of Southern Cameroon. *Agroforestry systems(Netherlands)* 22(3):207-220.
- INTERNATIONAL INSTUTUTE OF TROPJICAL AGRICULTURE.** 1982. Annual Report for 1981 Ibadan, Nigeria 178 p
- KANG, B.T.; WILSON, G.T.; SIPKENS, L.** 1981. Alley cropping of maize (*Zea mays* L.) and *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* Lam.) in southern Nigeria. *Plant and soil* 63:165-179
- KANG, B.T.; GRIME, H.; LAWSON, T.L.** 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in Southern Nigeria. *Plant soil* 85:267-277
- KANG, B.T.; WILSON,G.F.; LAWSON,T.L.** 1990. Alley cropping, a stable alternative to shifting cultivation. International Institute for Tropical Agriculture Ibadan , Nigeria 22 p.
- KASS, D.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J.** 1989. Resultado de seis años de investigación de cultivo en callejones (Alley cropping), en La Montaña, Turrialba, Costa Rica. *El Chasqui Boletín informativo sobre recursos naturales. CATIE* 19:5-24.
- KLUTE, A.; DIRKSEN, C.** 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity : Laboratory methods. In *Methods of soils analysis. Part I. Physical and mineralogycal properties* Madisonc ASA. pp 687-733.
- LAL, R.** 1989a. Agroforestry systgems and soil surface management of a tropical Alfisol: I. Soil moisture an crop yield. *Agroforestry systems* 8:7-29.
- LAL, R.** 1989b. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical: III. Changes in Soil chemical properties. *Agroforestry systems* 8(2):113-132.
- LAL, R.** 1989c. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol: IV. Changes in soil physical and mechanical properties. *Agroforestry systems* 8(3):197-215.

- LAL, R.** 1989d Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol: V Water infiltrability, transmissivity, and soil water sorptivity. *Agroforestry systems* 8(3):217-238
- LEBEUF, T.** 1993. Sistemas agroforestales con *Erythrina fusca* y su efecto sobre la perdida de suelo y la escorrentia superficial en tierras de ladera, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. In *Erythrina in te New and Old Worlds*. NFTA. Hawaii pp. 333-343.
- MARQUEZ, O.; HERNANDEZ, R.; TORRES, A.; FRANCO, W.** 1993. Cambios en las propiedades fisico-químicas de los suelos en una cronosecuencia de *Tectona grandis*. *Turrialba* 43(1):37-41.
- MATTA-MACHADO, R.P.; JORDAN, C.F.** 1995. Nutrient dynamics during the first three years of an alleycropping agroecosystems in Southern USA. *Agroforestry systems (Netherlands)* 30(3):351-366.
- MAZZARINO, M.J.; SZOTT, L.; JIMÉNEZ, M.** 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biol Biochem* 25:205-214.
- NAIR, P.K.R.** 1984. Soil productivity aspects of agroforestry. *Science and Practice of Agroforestry 1* Nairobi Kenya, ICRAF 85 P.
- NAIR, P.K.R.** 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Países Bajos. Kluwer Academic Publisher. pp 66-69
- POLGLASE, P.J.; JOKELA, E.J.; COMERFORD, N.B.** 1992. Phosphorus, Nitrogen, and Carbon fractions in litter and soil of Southern Pine plantations. *Soil Sci Soc Am (Gainesville)* 56:566-572.
- QUILAND, M.M.** 1984. Mulches from two tropical trees especies, *Erythrina poeppigiana* (walpers) O. F. Cook and *Gmelina arborea* Rox as nitrogen sources in the production of maize (*Zea mays* L.). Tesis Mag Sc. Catie, Turrialba, C R. 74 P
- ROSECRANCE, R.; ROGERS, S., TOFINGA, M.** 1992. Effects of alley cropped *Calliandra calothyrsus* and *Gliricidia sepium* hedge on weed growth, soil properties and taro yields in Western Samoa. *Agroforestry systems(Netherlands)* 19(1):57-66.
- RYAN, M.G.; MELILLO, J.M.; RICCA, A.** 1989. A comparison of methods for determining proximate carbon fraction of forest litter. *Can. J. For. Res.* 20:166-171.
- SALAZAR, A.** 1991. Cultivo en callejones, algunos resultados de investigación en Yurimaguas, Cuenca Amazonica de Peru. In SMYTH, T.J; RAUN, W.R.; BERTSCH, F. eds. Manejo de suelos tropicales en Latinoamérica. Soil Science Dept. North Carolina State University. Raleigh, USA p. 674-677.

- SALAZAR, A.; SZOTT, L.T.; PALM, C.A.** 1993. Crop-tree interactions in alley cropping systems on alluvial soils of the Upper Amazon Basin. *Agroforestry systems* 22:67-82.
- SÁNCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; DAVEY, C.B.; SZOTT, L.T.; RUSSELL, C.E.** 1985. Tree crops as soil improvers in the humid tropics? In CANNELL, M.G.R.; JACKSON, J.E. (eds). *Attributes of trees as crop plants*. Institute of Terrestrial Ecology Natural Environmental Research Council. Huntingdon, England, Abbots Ripton. pp 327-350.
- SÁNCHEZ, P.A.** 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. p. 205-223 In STPPLER, H.A.; NAIR, P.K.R. (eds.) *Agroforestry. A decade of development*. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A.** 1991b. Soil plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 1991.
- SZOTT, L.T.; PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A.** 1991. Agroforestry on acid soil of the humid tropics. *Advances in Agronomy* 45:275-300.
- TIAN, G.** 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant and soil under humid tropical conditions. Waheningen, Netherlands. 108 p
- YAMOAH, C.F.; AGBOOLA, A.A.; WILSON, G.F.; MOLONGOY, K.** 1986. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with Maíz. *Agriculture Ecosystems & Environment (Netherlands)* 18(2):167-177.
- YOUNG, A.** 1989. 10 Hipotesis for soil-agroforestry research. *Agroforestry today (Kenya)* 1(1):13-16
- YOUNG, A.** 1989. *Agroforestry for soil conservation*. CAB International/ICRAF. Nairobi. 276 p.

VII- Anexos

Cuadro 1A. Resultados análisis de suelos, a la profundidad de 0-20cm, La Montaña, 1991.

Tratamientos	P mg/l	Ca	Mgcmol/l...	K	M.O. %	N %
B1 E	7.1	6.63	2.08	0.46	5.52	0.21
B1 G	5.0	6.88	2.08	0.23	5.66	0.24
B1 C	5.0	6.00	1.67	0.25	5.11	0.23
B1 T	5.5	6.63	2.08	0.13	5.86	0.22
B2 E	5.9	6.25	1.46	0.19	5.59	0.25
B2 G	9.9	5.50	1.88	0.24	5.93	0.22
B2 C	10.8	6.75	1.88	0.26	5.31	0.27
B2 T	8.5	6.75	2.08	0.28	5.59	0.23
B3 E	7.6	5.88	2.08	0.26	5.45	0.24
B3 G	5.0	5.63	1.46	0.24	5.66	0.24
B3 C	5.0	6.00	1.67	0.30	4.35	0.24
B3 T	7.1	6.25	2.71	0.45	5.31	0.17

B=bloque E=Erythrina G=Gliricidia C=Calliandra T=Testigo

Cuadro 2A. Resultados análisis de suelos, a la profundidad de 0-20cm, La Montaña, 1992.

Tratamientos	P mg/l	Ca	Mgcmol/l...	K	M.O. %	N %
B1 E	13.6	6.91	1.96	0.52	4.93	0.22
B1 G	6.5	6.63	2.13	0.42	5.28	0.22
B1 C	7.9	5.43	1.69	0.24	4.86	0.24
B1 T	6.5	5.54	1.79	0.37	5.14	0.25
B2 E	7.4	6.00	1.40	0.14	5.42	0.26
B2 G	10.4	5.53	2.83	0.12	5.42	0.26
B2 C	10.9	6.68	1.88	0.17	5.14	0.24
B2 T	8.9	7.13	2.21	0.30	5.56	0.22
B3 E	6.0	6.08	1.92	0.27	5.28	0.24
B3 G	6.5	6.05	1.90	0.28	5.78	0.27
B3 C	6.9	6.69	1.96	0.31	4.44	0.21
B3 T	8.4	6.33	2.02	0.42	5.07	0.22

B=bloque E=Erythrina G=Gliricidia C=Calliandra T=Testigo

Cuadro 3A. Resultados análisis de suelos, a la profundidad de 0-20cm, La Montaña, 1993.

Tratamientos	P mg/l	Ca	Mgcmol/l...	K	M.O. %
B1 E	8.8	5.55	1.81	0.32	5.08
B1 G	7.9	6.11	1.81	0.26	5.45
B1 C	7.0	8.30	3.06	0.53	6.43
B1 T	12.6	7.43	2.23	0.62	5.72
B2 E	12.4	7.55	2.31	0.28	5.45
B2 G	13.6	6.50	2.02	0.29	5.55
B2 C	9.8	6.38	2.65	0.14	5.87
B2 T	7.8	5.60	1.63	0.27	5.86
B3 E	13.1	4.99	1.60	0.23	5.67
B3 G	5.8	6.28	2.08	0.41	4.96
B3 C	6.9	5.89	1.90	0.32	5.10
B3 T	6.9	5.38	1.77	0.27	5.49

B=bloque E=Erythrina G=Gliricidia C=Calliandra T=Testigo

Cuadro 4A. Resultados análisis de suelos, a la profundidad de 0-20cm, La Montaña, 1994.

Tratamientos	P mg/l	Ca	Mgcmol/l...	K	M.O. %	N %
B1 E	7.4	5.74	1.45	0.36	5.85	0.26
B1 G	4.78	5.80	1.77	0.26	6.05	0.26
B1 C	5.33	4.77	1.51	0.29	5.45	0.25
B1 T	6.05	5.03	1.46	0.18	6.28	0.28
B2 E	6.18	4.74	1.22	0.27	6.07	0.27
B2 G	10.33	4.78	1.58	0.31	6.27	0.30
B2 C	15.18	5.85	1.48	0.24	6.03	0.27
B2 T	7.33	6.17	1.55	0.23	6.15	0.28
B3 E	5.45	4.87	1.51	0.26	5.75	0.28
B3 G	6.95	4.93	1.47	0.24	6.08	0.29
B3 C	5.68	5.16	1.53	0.38	5.37	0.26
B3 T	6.25	5.26	1.49	0.32	5.02	0.25

B=bloque E=Erythrina G=Gliricidia C=Calliandra T=Testigo

Cuadro 5A.

**RESULTADO DE ANÁLISIS
ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS**

Técnico: Yudis Heredia

Localidad: Lote #7, La Montana, CATIE
 Fecha muestreo: 11/12/95
 Fecha ingreso: 26/03/96
 Fecha análisis: 22-24/04/96

No. Lab.	No. Ident.	Prof. (cm)	pH AGUA	ACD.EXT. -----	Ca cmol(+)/L -----	Mg -----	K	P - mg/L	N %	
S96-	414	#1-G	0-20	5.6	0.05	8.68	1.84	0.25	5.62	0.2
S95-	415	#1-C	0-20	5.4	0.14	6.62	1.46	0.37	8.15	0.2
S95-	416	#1-E	0-20	5.6	0.06	7.39	1.28	0.42	10.68	0.2
S95-	417	#1-T	0-20	5.3	0.17	6.10	1.18	0.14	6.26	0.2
S95-	418	#2-E	0-20	5.2	0.22	4.56	0.90	0.27	7.68	0.2
S95-	419	#2-T	0-20	5.3	0.16	4.82	1.39	0.11	7.68	0.2
S95-	420	#2-C	0-20	5.2	0.17	5.33	1.33	0.19	11.32	0.2
S95-	421	#2-G	0-20	5.4	0.13	4.30	1.97	1.16	10.68	0.2
S95-	422	#3-C	0-20	5.4	0.08	5.59	1.33	0.40	7.52	0.2
S95-	423	#3-G	0-20	5.1	0.27	4.56	1.26	0.25	7.52	0.3
S95-	424	#3-T	0-20	5.4	0.10	4.05	1.28	0.32	6.10	0.2
S95-	425	#3-E	0-20	5.2	0.24	3.27	1.28	0.28	6.89	0.2

Cuadro 6A.**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL**

Técnico: Yudis Heredia
 Localidad: Lote 7, La Montana
 Fecha muestreo: 12/03/96
 Fecha ingreso: 26/03/96
 Fecha análisis: 22/04/96

No. Lab.	No. Ident.	Ca	Mg	K	P
		----- % -----			
F96- 116	HP	0.34	0.14	1.94	0.30
F96- 117	HC	0.50	0.18	0.46	0.13
F96- 118	HMN	0.34	0.16	1.32	0.19
F96- 119	TTP	0.16	0.08	1.14	0.15
F96- 120	TTC	0.06	0.02	0.44	0.10
F96- 121	TTMN	0.14	0.10	1.06	0.14
F96- 122	TLP	0.18	0.04	0.94	0.12
F96- 123	TLC	0.04	0.00	0.32	0.05
F96- 124	TLMN	0.04	0.04	0.98	0.07

** HP=hojas poro, HC=hojas Calliandra, HMN=hojas madero negro
 TT=tallo tierno, TL=tallo leñoso.

Cuadro 7A. Resultados de análisis de tejido vegetal de Frijol.

Fecha de muestreo: Marzo 96

Fecha de análisis: 23/08/96

Tratamientos	P (%)
B1E-Raíz	0.16
B1E-Tallo+hojas	0.20
B1E-Vaina	0.54
B1C-Raíz	0.13
B1C-Tallo+hojas	0.14
B1C-Vaina	0.38
B1G-Raíz	0.13
B1G-Tallo+hojas	0.18
B1G-Vaina	0.42
B1T-Raíz	0.15
B1T-Tallo+hojas	0.23
B1T-Vaina	0.39
B2E-Raíz	0.13
B2E-Tallo+hojas	0.15
B2E-Vaina	0.39
B2C-Raíz	0.14
B2C-Tallo+hojas	0.21
B2C-Vaina	0.49
B2G-Raíz	0.17
B2G-Tallo+hojas	0.24
B2G-Vaina	0.40
B2T-Raíz	0.18
B2T-Tallo+hojas	0.26
B2T-Vaina	0.42
B3E-Raíz	0.10
B3E-Tallo+hojas	0.12
B3E-Vaina	0.40
B3C-Raíz	0.15
B3C-Tallo+hojas	0.17
B3C-Vaina	0.42
B3G-Raíz	0.19
B3G-Tallo+hojas	0.14
B3G-Vaina	0.33
B3T-Raíz	0.15
B3T-Tallo+hojas	0.15
B3T-Vaina	0.36

Cuadro 8A. Promedios de producción de biomasa total y materia seca (kg/ha/año) de las 3 especies arbóreas utilizadas. Turrialba, C.R. 1996.

Especie arbórea	biomasa fresca (kg/ha/año)	Materia seca (kg/ha/año)
Erythrina	49332	14074.42
Calliandra	32220	13712.84
Gliricidia	45332	14370.24

** se realizan 2 podas por año

Cuadro 9A. Promedios de precipitación y temperatura del aire en La Montaña, en el periodo junio 1995 - junio 1996, CATIE, Turrialba, 1996.

MES	Temperatura	Precipitación
J	22	255
J	23	236
A	23	210
S	23	282
O	22	278
N	22	164
D	22	164
E	21	219
F	21	766
M	22	72
A	22	28
M	23	392
J	23	184

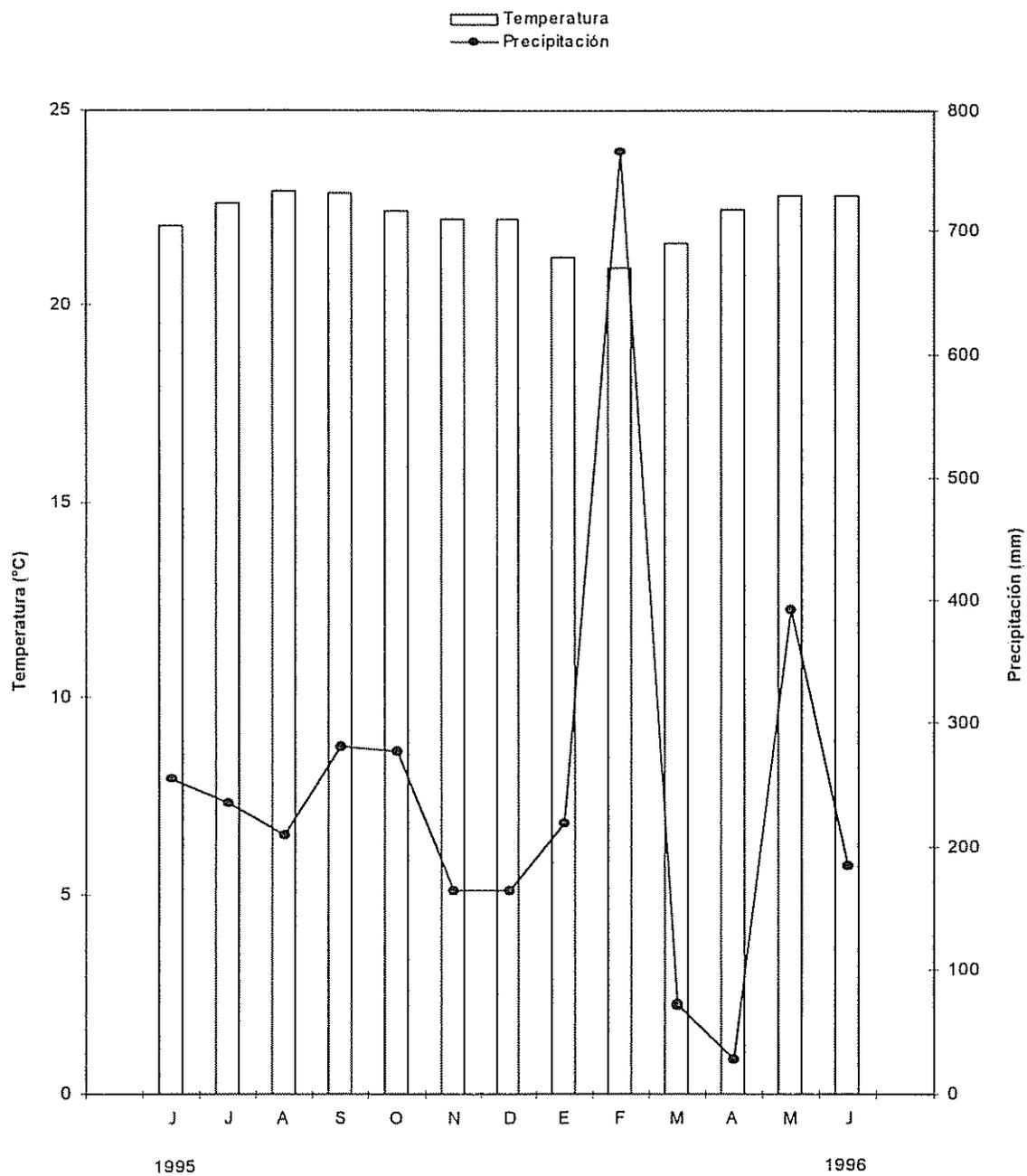


Figura 1A. Valores promedio de precipitación y temperatura del aire para el periodo junio 1995-junio 1996, CATIE, Turrialba , 1996.

Cuadro 10A. Resultados del análisis de varianza para la variable contenido de fósforo en el suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C.R., 1996.

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	97.06	48.53	12.38	0.0001 *
Arbol	3	13.12	4.37	1.12	0.3571 NS
Bloque*año	6	70.46	11.74	3.00	0.0194 *
año	4	32.54	8.13	2.08	0.1071 NS
Arbol*año	12	34.39	2.86	0.73	0.7111 NS

Cuadro 11A. Resultados del análisis de varianza para la variable contenido de Nitrógeno en el suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C.R., 1996.

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	0.0041	0.0020	6.01	0.0077 *
Arbol	3	0.0017	0.0006	1.67	0.1993 NS
Bloque*año	6	0.0038	0.0006	1.85	0.1308 NS
año	3	0.0109	0.0036	10.54	0.0001 *
Arbol*año	9	0.0038	0.0004	1.22	0.3292 NS

Cuadro 12A. Resultados del análisis de varianza para la variable contenido de Magnesio en el suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C.R., 1996.

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	0.22	0.11	1.65	0.21 NS
Arbol	3	0.62	0.20	3.04	0.04 *
Bloque*año	6	0.29	0.04	0.73	0.63 NS
año	4	6.19	1.54	22.64	0.0001 *
Arbol*año	12	1.71	0.14	2.09	0.047 *

Cuadro 13A. Resultados del análisis de varianza para la variable contenido de Potasio en el suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C R., 1996

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	0.055	0.027	1.11	0.342 NS
Arbol	3	0.040	0.013	0.53	0.66 NS
Bloque*año	6	0.227	0.037	1.51	0.20 NS
año	4	0.099	0.025	0.99	0.42 NS
Arbol*año	12	0.297	0.025	0.99	0.47 NS

Cuadro 14A Resultados del análisis de varianza para la variable contenido de Calcio en el suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C R., 1996

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	6.61	3.30	2.92	0.68 NS
Arbol	3	1.07	0.35	0.32	0.81 NS
Bloque*año	6	4.99	0.83	0.73	0.63 NS
año	4	11.17	2.79	2.46	0.06 NS
Arbol*año	12	3.55	0.29	0.26	0.99 NS

Cuadro 15A. Resultados del análisis de varianza para la variable contenido de Materia orgánica en el suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C R., 1996

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	1.53	0.766	9.90	0.0004 *
Arbol	3	0.18	0.060	0.78	0.51 NS
Bloque*año	6	1.41	0.236	3.05	0.017 *
año	4	3.86	0.966	12.48	0.0001 *
Arbol*año	12	2.54	0.211	2.74	0.011 *

Cuadro 16A. Resultados del análisis de varianza para la variable Densidad aparente del suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C R., 1996

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	0.0042	0.0021	1.18	0.356 NS
Arbol	3	0.0002	0.00007	0.04	0.988 NS
Bloque*Arb	6	0.0076	0.0013	0.71	0.654 NS
Labranza	1	0.0045	0.0045	2.51	0.152 NS
Arbol*Labran	3	0.0008	0.0002	0.16	0.923 NS

Cuadro 17A Resultados del análisis de varianza para la variable Resistencia a penetración del suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C R., 1996.

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	0.397	0.198	1.36	0.309 NS
Arbol	3	1.26	0.42	2.88	0.103 NS
Bloque*Arb	6	1.74	0.29	1.99	0.18 NS
Labranza	1	19.72	19.72	135.06	0.0001 *
Arbol*Labran	3	0.80	0.268	1.83	0.219 NS

Cuadro 18A Resultados del análisis de varianza para la variable Conductividad Hidráulica del suelo, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C R., 1996

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	131.64	65.82	6.88	0.018 *
Arbol	3	102.35	34.11	3.57	0.067 NS
Bloque*Arb	6	114.02	19.00	1.99	0.182 NS
Labranza	1	3.92	3.92	0.41	0.540 NS
Arbol*Labran	3	27.40	9.13	0.95	0.459 NS

Cuadro 19A Resultados del análisis de varianza para la variable Retención de humedad del suelo a 1500 kPa, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C.R., 1996

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	26.07	13.03	24.18	0.0004 *
Arbol	3	12.02	4.00	7.44	0.010 *
Bloque*Arb	6	22.64	3.77	7.00	0.0075 *
Labranza	1	8.27	8.27	15.35	0.0044 *
Arbol*Labran	3	2.35	0.78	1.46	0.297 NS

Cuadro 20A Resultados del análisis de varianza para la variable Retención de humedad del suelo a 100 kPa, bajo el sistema de cultivos en callejones, Turrialba, C.R., 1996.

F de V	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr>F
Bloque	2	4.80	2.40	2.46	0.147 NS
Arbol	3	0.195	0.065	0.07	0.976 NS
Bloque*Arb	6	17.00	2.833	2.90	0.083 NS
Labranza	1	0.104	0.104	0.11	0.752 NS
Arbol*Labran	3	1.60	0.534	0.55	0.664 NS