

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA  
PROGRAMA DE POSGRADO

EFFECTOS DE LA APLICACION DE ENMIENDAS ORGANICAS SOBRE  
LAS PROPIEDADES FISICAS DE UN SUELO TYPIC HUMITROPEPT,  
TURRIALBA, COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

por

Carlos Manuel Céspedes Espinal

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
1991

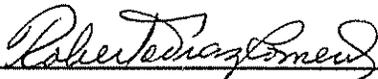
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE**

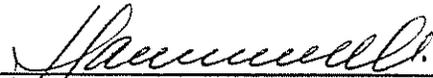
COMITE ASESOR:



Dr. Donald L. Kass  
Profesor Consejero



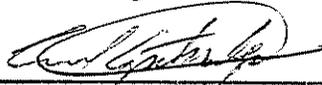
M. Sc. Roberto Díaz-Romeu  
Miembro del Comité



M. Sc. Jorge Faustino  
Miembro del Comité



Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.  
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado



Carlos Manuel Céspedes Espinal  
Candidato

## DEDICATORIA

A Joselín, por su amor y paciencia

A mis hijas: Carolín, Josamy y Lucila, quienes con su ternura y candidéz han estimulado en mí la sed de superación para brindarles lo mejor.

A mis padres, Lucila y Aurelio, siempre atentos, viven en mí.

A mi hermana Alejandrina y mis sobrinos Angel y Nelson, fuentes de apoyo.

A mi Tía Ana Virginia quien fué pionera para el grado alcanzado hoy. Ya en la Paz del Señor.

A todas las personas e instituciones que hicieron posible éste logro.

## AGRADECIMIENTO

Al Dr. Donald Kass, profesor consejero, paciente y firme en su orientación y a su esposa María Kass.

A la República de Holanda, por su aporte económico muchos técnicos podemos superarnos cada año.

A Roberto Díaz-Romeu y Jorge Faustino, profesores y miembros de mi comité asesor.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y su representante en República Dominicana, Dr. Rafael Ortíz.

A Máximo Martínez y Fco. Rafael Rodríguez.

A mis amigos y compañeros de promoción Pablo Abreu, Luis Garrido y Orlando Moncada, quienes podríamos escribir largas páginas de anécdotas.

A todos mis compañeros de promoción.

A la hermosa familia Rivas Villamán quienes nos dieron su amistad, la cual quedó sellada con el mandato de Dios a través del bautizo de mi hija Lucila.

A mis amigos Eddy Romero, Luis Corado, Gustavo Ortiz, M<sup>a</sup> Engracia Detrínidad y Georgina Orozco, por su amistad y cooperación.

Gracias

## BIOGRAFIA

El autor nació el 13 de Noviembre del año 1956, en Santo Domingo, República Dominicana.

En 1976 obtuvo el título de Bachiller en Ciencias Físicas y Naturales en el Liceo Secundario "Ulises Francisco Espaillat" de la ciudad de Santiago de los Caballeros.

El 28 de Octubre de 1984 recibió el grado de Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), presentando su tesis sobre variedades de Tomate Industrial (*Lycopersicum esculentum* (L.)) realizada en el Centro de Investigación Aplicadas a Zonas Aridas (CIAZA), en Azua, bajo la dirección del Dr. Victoriano Zarita Valdéz.

En Marzo de 1984 empezó a laborar para la Secretaría de Estado de Agricultura en el Departamento de Investigaciones Agropecuarias con asiento en el Centro Norte de Desarrollo Agropecuario (CENDA), como encargado del programa de investigación en Musáceas de éste centro.

En setiembre de 1988 ingresó al programa de posgrado del CATIE, recibiendo en Abril de 1991, el grado de Magister Scientiae en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales.

## INDICE GENERAL

HOJA DE APROBACION	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
BIOGRAFIA	v
INDICE	vi
RESUMEN	vii
SUMMARY	ix
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1.- INTRODUCCION	1
2.- REVISION DE LITERATURA	3
3.- MATERIALES Y METODOS	15
4.- RESULTADOS Y DISCUSION	22
4.1 CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD	22
4.2 DISTRIBUCION DE POROS	29
4.3 RESISTENCIA AL CORTE	41
4.4 RESISTENCIA A LA PENETRACION	44
4.5 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	48
4.6 DENSIDAD APARENTE	51
4.7 ESTABILIDAD DE AGREGADOS	53
5.- DISCUSION GENERAL	56
6.- CONCLUSIONES	60
7.- BIBLIOGRAFIA	64

## RESUMEN

CESPEDES E., C. M. 1991. Efectos de la aplicación de enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas de un suelo Typic Humitropept, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, C. R. Tesis M. Sc. 72 p.

**PALABRAS CLAVES:** Sistemas agroforestales, cultivos en callejones, propiedades físicas del suelo.

**Efectos de la aplicación de enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas de un suelo Typic Humitropept, Turrialba, Costa Rica.**

Las propiedades físicas del suelo fueron estudiadas sobre un suelo Inceptisol (Typic Humitropept, fine;halloysitic isohyperthermic) en la estación experimental "La Montaña" del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Se aplican desde hace 8 años (dos veces por año) diferentes enmiendas orgánicas: Ramas y hojas de la poda de *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* en callejones, estiércol de vaca, Mulches de *Gmelina arborea*, *Gliricidia* y *Erythrina* y un tratamiento control sin "Mulch", pero con la deposición de los residuos de cosechas. Se observó que todas las aplicaciones de "Mulch" superaron significativamente al tratamiento control, cuando se midió la retención de humedad a las tensiones de 1, 10, 33, 100, 500 y 1500 kPa, en los estratos entre 0 a 10 y 10 a 20 cm. La distribución de poros grandes fué favorecida en mayor proporción por la aplicación de estiércol con respecto a los demás tratamientos, una reducción de poros grandes fué registrada para el control. La resistencia al corte fue superior para el control que para los demás tratamientos, a causa del efecto ejercido por el "Mulch" sobre la humedad del suelo, principalmente en el estrato de 0 a 10 cm. Para la resistencia a la penetración el sistema de cultivos en callejones con *Gliricidia*, el tratamiento control y la aplicación de estiércol de vaca registraron el mayor valor, entre las demás aplicaciones no se registró diferencias significativas.

La conductividad hidráulica saturada no mostró diferencias significativas estadísticamente. sin embargo, se observó una diferencia relativa de más del doble, donde una conductividad hidráulica más rápida fué registrada por algunos tratamientos, principalmente en el estrato de 0 a 10 cm, con respecto a la aplicación de estiércol de vaca, la cual parece haber obstruido los poros grandes. La densidad aparente registró resultados similares cuando se realizó el análisis de varianza por lo que se ve semejantemente favorecida por todas las aplicaciones de enmiendas orgánicas en ambas profundidades. La estabilidad de agregados en ambas profundidades no mostró diferencias estadísticamente significativas al comparar los tratamientos aplicados. Los resultados de éste trabajo mostraron los efectos favorables de la aplicación de materia orgánica al suelo sobre las propiedades físicas del mismo.

## SUMMARY

CESPEDES, E., C. M. 1991. Effects of application of organic materials on physical properties of a Typic Humitropept, Turrialba, Costa Rica. Thesis Mag. Sci.

KEY WORDS: Agroforestry systems, Alley cropping, Soils physical properties.

Effects of application of organic materials on physical properties of a Typic Humitropept, Turrialba, Costa Rica.

Physical properties of an Inceptisol (Typic Humitropept, fine; halloysitic, isohyperthermic) in "La Montaña" experimental field, Turrialba, Costa Rica, were studied to which were applied over eight years (twice a year) different organic amendments: Branches and leaves from *Erythrina poeppigiana* and *Gliricidia sepium* alley cropping pruning, Cow manure, *Gmelina arborea*, *Gliricidia* and *Erythrina* Mulches and a control without Mulch but with return of crop residues. It was observed that all Mulch applications increased significantly over control treatments, soil moisture retention at 1, 10, 33, 100, 500, 1500 kPa. In strata between 0 to 10 and 10 to 20 cm, the size of pores was greater with Cow manure applications in comparison to the rest of treatments, pore size was reduced in the control treatment. Shear strength was higher on the check, because of the Mulch effect on soil moisture, mainly into 0 to 10 cm stratum. For penetration strength the *Gliricidia* alley cropping, control treatment and Cow manure showed larger values. There were no significant differences for the other applications. There were no statistically significant differences among treatments in saturated hydraulic conductivity. However, several treatments in the 0 to 10 cm stratum were more than twice as rapid as the Cow manure treatment, which appears to have resulted in clogging of pores. The bulk density was similar for all organic amendments in both depth, without difference in the analysis of variance. The water aggregate stability was not different statistically for all treatments in both depths. This work showed the favorable effect of applications of organic amendments on the soil physical properties.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro no.	Título	Página
1	Valores promedio de retención de humedad a diferentes presiones, a la profundidad de 0 a 10 cm.....	23
2	Valores promedios de retención de humedad a diferentes presiones, a la profundidad de 10 a 20 cm.....	26
3	Distribución del espacio poroso de los tratamientos a profundidad de 0 a 10 cm..	30
4	Distribución del espacio poroso de los tratamientos a profundidad de 10 a 20 cm.	36
5	Valor medio de resistencia al corte y la respectiva humedad por tratamiento, a la profundidad de 0 a 10 cm.....	42
6	Valor medio de resistencia al corte y la respectiva humedad por tratamiento, a la profundidad de 10 a 20 cm.....	43
7	Valor medio de resistencia a la penetración y la respectiva humedad por tratamiento a profundidad de 0 a 10 cm.....	45
8	Valor medio de resistencia a la penetración y la respectiva humedad por tratamiento a profundidad de 10 a 20 cm.....	47
9	Conductividad hidráulica promedio de los tratamientos, a dos profundidades.....	49
10	Densidad aparente promedio por tratamiento, a dos profundidades.....	52
11	Diámetro promedio por peso para estabilidad de agregados por tratamientos, a dos profundidades.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura no.	Título	Página
1a	Curvas de retención de humedad del suelo del tratamiento control versus sistemas en callejones con Erythrina y Gliricidia, profundidad de 0 a 10 cm.....	25
1b	Curvas de retención de humedad del suelo del tratamiento control versus aplicaciones de estiércol, Mulches de Gmelina, Gliricidia y Erythrina, profundidad de 0 a 10 cm.....	28
2a	Curvas de retención de humedad del suelo del tratamiento control versus sistemas en callejones con Erythrina y Gliricidia, profundidad de 10 a 20 cm.....	31
2b	Curvas de retención de humedad del suelo del tratamiento control versus aplicaciones de estiércol, Mulches de Gmelina, Gliricidia y Erythrina, profundidad de 10 a 20 cm.....	31
3a	Distribución del tamaño de poros del control vs tratamientos con "Mulch " de Erythrina y estiércol de vaca, profundidad de 0 a 10 cm.	33
3b	Distribución del tamaño de poros del control vs tratamientos con Mulches de Gmelina y Gliricidia, profundidad de 0 a 10 cm.....	34
3c	Distribución del tamaño de poros del control vs tratamientos de cultivos en callejones con Erythrina y Gliricidia, profundidad de 0 a 10 cm.....	35

Figura No.	Título	Página
4a	Distribución del tamaño de poros del control vs tratamientos con Mulches de Erythrina y Gliricidia, profundidad de 10 a 20 cm.....	38
4b	Distribución del tamaño de poros del control vs tratamientos de cultivos en callejones con Erythrina y Gliricidia, profundidad de 10 a 20 cm.....	39
4c	Distribución del tamaño de poros del control vs tratamientos con "Mulch" de Gmelina y estiércol de vaca, profundidad de 10 a 20 cm	40

## 1. INTRODUCCION

La producción de alimento de países en desarrollo demanda cada día alternativas con bajo uso de insumos, pues la situación del suministro de fertilizantes ha cambiado mucho y sus elevados precios, la gran necesidad de energía para la agricultura, la grave escasez de combustibles y la necesidad de mantener las características físico-químicas del suelo, para el disfrute por las generaciones futuras, exigen una atención concentrada en el aprovechamiento de los desperdicios rurales para poder satisfacer éstas necesidades a bajos costos.

El cultivo en callejones, por sus características se ha señalado como una tecnología de bajos insumos (Sánchez P. y Salinas J., 1983; Budelman A., 1989). También, se han resaltado como ventajas de éstos sistemas el suministro de nitrógeno y materia orgánica al suelo (Yamoah C., et al, 1986a), el control de malezas en el cultivo asociado (A Ken Ova M. y Atta-Krah A., 1986; Seibert B. y Kuncoro I., 1988), el control de la erosión en suelos de laderas (Vega L. et al, 1987) y el mantenimiento de la capacidad nutricional del

suelo (Ssekabembe C., 1985). Sin embargo, los efectos de los sistemas de cultivos en callejones sobre la estructura, compactación y retención de humedad, entre otras propiedades, no ha sido ampliamente estudiado (Lal R., 1989a). Resultados de años anteriores sobre la investigación de cultivos en callejones y aplicación de enmiendas orgánicas han sido reportados y a pesar de que la aplicación de estiércol de vaca y "Mulch" aumentó

## 2. REVISION DE LITERATURA

Los países menos desarrollados se caracterizan por un rápido crecimiento de la población y, en diversos grados, por una limitación de las tierras cultivables y de sus reservas de divisas. Por consiguiente su finalidad debería ser emplear técnicas que aumenten la productividad de la tierra utilizando la energía de los seres humanos y otros recursos localmente disponibles, en vez de emplear insumos, en especial capital y equipos, que tienen una fuerte demanda de divisas. En éstas circunstancias, los fertilizantes orgánicos pueden desempeñar un papel económico importante, aumentan la rentabilidad de la tierra al incrementar los rendimientos, utilizando mano de obra y materiales de desperdicio cuyo costo social es bajo. Las necesidades de divisas son insignificantes y a menudo las inversiones necesarias pueden ser aportadas por la mano de obra. Por lo tanto, en términos generales puede decirse que existe una fuerte razón económica en favor de la utilización más completa de los materiales orgánicos como fertilizantes en los países menos desarrollados, en especial aquellos que no tienen reservas de tierras cultivables no utilizadas (Duncan A., 1974).

La aplicación de materia orgánica constituye una práctica agrícola por la cual se distribuyen sobre la superficie del suelo o se incorporan al mismo con el propósito de mejorar sus propiedades. El suelo tratado de ésta manera sufre efectos físicos, biológicos y químicos (Ayanaba A. y Okigbo B., 1974).

Los efectos físicos se explican por su influencia en la formación de agregados, mejoramiento de la estructura, de la tasa de infiltración y aumento de la capacidad de retención de agua, entre otras (Fassbender H., 1985; Ayanaba A. y Okigbo B., 1974).

La reconstitución de la materia orgánica del suelo es una preocupación esencial del agrónomo, y en las prácticas de cultivos se debe tener en cuenta la necesidad de mantener y, si es posible, de aumentar los niveles de materia orgánica en los suelos (Charreau C., 1974).

El sistema de cultivos en callejones es una práctica de manejo de suelos en la cual los cultivos crecen entre los espacios de arbustos o especies

arbóreas plantadas en fila, y en los que éstas especies son periódicamente podadas durante la estación de cultivos (Kang B. et al, 1985). Alley cropping como se le llama en inglés a éstos sistemas de cultivos es relativamente una nueva tecnología, la información sobre los mismos es aún muy limitada en literatura y varios aspectos concernientes a éstos sistemas, actualmente, necesitan más atención en su investigación (Ssekabembe C., 1985).

La importancia de éstos sistemas de producción se ha resaltado por los trabajos que se reportan en la literatura. Kang B. et al (1981), se refieren que bajo favorables condiciones físicas del suelo; el maíz, con labranza mínima, fué mantenido solamente con adecuado retorno de los residuos de cosecha como "Mulch" a la superficie del suelo. Así mismo, observaron que aparte del bajo contenido en materia orgánica en parcelas no tratadas con "Mulch", la superficie fué expuesta a un incremento en escorrentía y erosión del suelo exponiendo, en relación a los demás tratamientos, al subsuelo infértil a la compactación y a la débil actividad biológica, lo cual restringió el crecimiento radical a capas superficiales solamente.

Los cambios en las propiedades físicas del suelo han sido estudiados simulando la erosión por eliminar varios niveles de la capa superficial del suelo, registrandose un incremento de la densidad aparente cuando se eliminó los primeros 10 cm, así mismo, la porosidad total, la retención de humedad y la conductividad hidráulica saturada se redujeron considerablemente. Estos cambios fueron menores para el control no disturbado que en aquellos en que se expuso el subsuelo cuando se simuló la erosión eliminando la capa superficial a varios niveles (Mbagwu J. et al, 1984)

Kang B. (1985), en estudios con sistemas agroforestales (Alley cropping) observó que la adición de "Mulch" proveniente de la poda de *Leucaena* incrementó sustancialmente la retención de humedad en el estrato superficial del suelo, confirmando esto con medidas gravimétricas y por tensiómetros. Investigaciones previas han sugerido que un incremento significativo en el almacenamiento de agua se ha logrado principalmente con tasas de aplicación de "Mulch" que exceden los 12.000 kg ha<sup>-1</sup> (Russel J., 1939; Harris W., 1963; Lemon E., 1956).

El arreglo y organización de las partículas en el suelo es llamado estructura del suelo. Ya que éstas partículas difieren en forma, tamaño y orientación, la masa de ellas pueden formar configuraciones complejas e irregulares, las cuales son difíciles sino imposible de caracterizar en términos geométricos exactos. Una complicación aún mayor es la naturaleza inherentemente inestable de la estructura del suelo y por tanto su inconsistencia en el tiempo, tanto como su no uniformidad en el espacio. La estructura del suelo es fuertemente afectada por cambios en el clima, actividad biológica, y las prácticas de manejo del suelo, y es vulnerable a fuerzas destructivas de naturaleza mecánica y fisicoquímicas (Hillel D., 1982).

La estructura de la superficie de los suelos usualmente se le da mayor atención en relación a la erosión del suelo, porque está más sujeto al deterioro bajo el impacto de las gotas de lluvia y debido a que su condición puede ser fácilmente alterada debido a prácticas agrícolas. La estabilidad de cualquier organización estructural dada es particularmente importante en relación a la erodabilidad. Esta primeramente surge en relación

al fácil desprendimiento de partículas de los agregados. Partículas más pequeñas son más fácilmente transportadas por el movimiento del agua que las más grandes, y por consiguiente si los agregados son estables contra fuerzas destructivas, poca erosión se originará. La estabilidad de agregados es también importante en lo que partículas desprendidas de arcilla y limo son probablemente lixiviadas hacia poros más gruesos de la estructura existente, y así causa una reducción en la conductividad del agua por el suelo (Greenland D., 1977).

Una característica común y deseable de la estructura de los suelos es la estabilidad al agua. Es aparente que solo aquellas unidades estructurales que resisten la desintegración cuando son sujetas a excesos de agua son de significancia bajo condiciones de campo. La estabilidad al agua es una cantidad relativa, medida bajo cierta arbitrariedad. Las técnicas más comunes usadas para caracterizar la condición estructural de los suelos abarca la agitación mecánica de la muestra en el agua, en tasas y longitud de tiempo arbitrarios. La fracción de la muestra original que permanece en una o más clases de tamaño es determinada y usada para

describir la condición estructural de la muestra inicial (Russell M. y Feng C., 1947).

La densidad aparente expresa la proporción de masa de suelo seco sobre su volumen total (sólidos y poros juntos). Obviamente, la densidad aparente es siempre más pequeña que la densidad de partículas. La densidad aparente es afectada por la estructura del suelo, i. e., su soltura o grado de compactación, tanto como sus características de hinchamiento y reducción, las cuales dependen del contenido de arcilla y humedad. Sin embargo, aún en suelos extremadamente compactados la densidad aparente permanece apreciablemente más baja que la densidad de partículas, debido a que las partículas nunca entrelazan perfectamente y el suelo permanece como un cuerpo poroso, nunca completamente impermeable (Hillel D., 1980)

La densidad aparente es un valor ampliamente utilizado, siendo necesario para la conversión del contenido de agua gravimétrica a volumétrica, para calcular la porosidad y la fracción de espacio aéreo, cuando la densidad de partículas es conocida, estima el grado de compactación del suelo y también

estima la masa de capa arable (Blake G. y Hartge K., 1986; Forsythe W., 1985; Koorevaar P. *et al*, 1983)

En el contexto agronómico, los suelos o capas del suelo son considerados compactados cuando la porosidad total, y particularmente la porosidad ocupada por aire, son tan bajas que restringen la aireación y sus poros tan pequeños que impiden la penetración de las raíces y el drenaje (Hillel D., 1982), la compactación del suelo aumenta, la tasa de infiltración y la conductividad hidráulica saturada disminuyen (Greacen E. y Sands R., 1980). La energía requerida para compactar un suelo podría venir del impacto de las gotas de lluvia, crecimiento de las raíces de las plantas, del tráfico del hombre y los animales, del peso de la vegetación y del suelo mismo. La susceptibilidad de un suelo a la compactación depende fuertemente de la cantidad de materia orgánica en el suelo, suelos ricos en materia orgánica son más difíciles de compactar (Greacen E. y Sands R., 1980).

Los trabajos sobre la aplicación de enmiendas orgánicas han sido conducidos por varios autores. Sommerfeldt T. y Chang C. (1987), aplicando diferentes cantidades de estiércol, a tensión de

20 kPa no observaron efecto significativo sobre la retención de agua a las profundidades de 0 a 15 y 15 a 30 cm. Sin embargo, a tensión de 1500 kPa el suelo que recibió estiércol a razón de 20 Mg ha<sup>-1</sup> retuvo 0,061 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> más agua en la profundidad de 0 a 15 cm que el suelo que no recibió estiércol, a profundidad de 15 a 30 cm retuvo 1,5 % más agua. Para conductividad hidráulica saturada no se registró diferencias significativas.

Yamoah C. *et al* (1986b), estudiando las propiedades físicas del suelo bajo sistemas agroforestales observaron un incremento del diámetro promedio de los agregados en cultivos en callejones y sugiere que podría ser debido al continuo abastecimiento de materia orgánica al suelo. La densidad aparente fué relativamente baja en cultivos en callejones, atribuyendolo a la adición de materiales orgánicos producto de la poda, indicando además que ésta podría ser la causa del incremento de la capacidad de retención de agua observada en los casos de callejones con Gliricidia y Cassia, observando cambios, para el contenido de agua volumétrica donde Cassia mantuvo el contenido de humedad más alto seguido por Gliricidia, Flemingia y el control. Concluyendo para las

propiedades físicas que la conservación de humedad con *Cassia* se debe a la abundancia y persistencia del "Mulch".

Juo A. y Lal R. (1977), bajo diferentes sistemas de manejo al suelo, estudiando las propiedades físicas del suelo, observaron que la densidad aparente en la capa del suelo de 0 a 15 cm fué de 1.38, 1.37, 1.49, 1.46 y 1.59  $t m^{-3}$  para los tratamientos con barbecho, hierba guinea, gandul, maiz con residuo y maiz sin residuo respectivamente. La poca cantidad de "Mulch" resultó en compactación en la superficie del suelo y consecuentemente alta densidad aparente. La baja densidad aparente del suelo para el tratamiento con barbecho es debida a la alta actividad biológica que resultó en un horizonte más poroso. La porosidad total calculada de la densidad aparente en la capa de 0 a 15 cm fué menor para los tratamientos con y sin residuos de maiz, la conductividad hidráulica saturada mostró diferencias significativas siendo los valores mayores en el horizonte superficial para el tratamiento con barbecho. Estos valores para las parcelas con residuos de maiz se redujeron en 45 % y para parcelas sin residuos de maiz 65 % comparado

con las parcelas en barbecho. Estas diferencias son probablemente debido a variación en la cantidad de "Mulch", al tipo de cubierta vegetal, y a diferencias en el patrón de enraizamiento, sugieren éstos autores.

La evolución de las propiedades físicas sobre un suelo Alfisol, en Nigeria, fueron estudiadas durante un período de seis años comenzando en 1982 hasta 1987 por Lal R. (1989b). Los cambios en las propiedades físicas fueron medidos en seis sistemas incluyendo, arado, cero labranza, hileras en contorno de *Leucaena leucocephala* con dos distancias (2 y 4 m), hileras en contorno con *Gliricidia sepium* (2 y 4 m de separación). En cada año se realizaron las medidas y se observó que la densidad aparente en las capas de 0 a 5 y 5 a 10 cm respectivamente, incrementó en todos los tratamientos de valores iniciales de 1,02 y 1,16  $t\ m^{-3}$  en 1982 a 1,43 y 1,65  $t\ m^{-3}$  al final del ciclo de cultivo en 1986. El mayor incremento fue observado por el tratamiento de cero labranza. En conformidad, hubo un incremento en la resistencia a la penetración en la capa de 0 a 5 cm de un valor promedio de 25,3 kPa en 1982 a 210,7 kPa en 1986. La resistencia a la penetración más alta (353 kPa)

en la capa de 0 a 5 cm fué medida para el tratamiento con cero labranza. De acuerdo a la porosidad total y la retención de humedad gravimétrica del suelo a cero succión, los valores más bajos fuéron registrados para el tratamiento con cero labranza y los más altos para un sistema en base a hileras de Gliricidia. Hubo un mejoramiento significativo en la capacidad de agua disponible (AWC) del suelo para los sistemas con Leucaena y Gliricidia

### 3. MATERIALES y METODOS

En el ensayo sobre cultivos en callejones ubicado en el campo experimental "La Montaña" del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, situado geográficamente entre los 9° 53' N y 83° 34' W, con 22 °C de temperatura y 2640 mm de lluvia promedio anuales y a 602 msnm, en Turrialba, Costa Rica. El suelo fué clasificado por el personal del Soil Conservation Service como un Typic Humitropept, fine;, halloysitic, isohyperthermic (Sánchez J., 1989). Se tomaron muestras de suelo de siete tratamientos a saber:

- Control (sin aplicación de "Mulch", con deposición de los residuos de cosechas sobre la superficie del suelo ).

- Ramas y hojas de *Erythrina poeppigiana* (20.000 kg ha<sup>-1</sup> de materia fresca) aplicada dos veces por año.

- Ramas y hojas de *Gmelina arborea* ( 20.000 kg ha<sup>-1</sup> de materia fresca) aplicada dos veces por año.

- Ramas y hojas de *Gliricidia sepium*, aplicada en la misma forma de los tratamientos anteriores.

- Estiércol de vaca (20.000 kg ha<sup>-1</sup> de materia fresca) aplicada dos veces por año.

- Cultivo en callejones con *Erythrina poeppigiana* con densidad de siembra de 555 plantas ha<sup>-1</sup> y podada dos veces por año.

- Cultivo en callejones con *Gliricidia sepium* a densidad de siembra de 6666 plantas ha<sup>-1</sup> y podada dos veces por año.

Mayores detalles sobre los tratamientos son referidos por Kass D. (1987), de igual manera sobre las dimensiones y ubicación de las parcelas son reportadas por Kass D. et al (1989) y Sánchez J. (1989).

El muestreo se realizó en el período Noviembre-Enero de 1990-91, después de la cosecha del cultivo de Maíz, en los estratos de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de la superficie del suelo, para determinar :

Conductividad hidráulica saturada ( $\text{cm h}^{-1}$ ) por el método del permeámetro de carga constante, se usó un muestreador tipo Uhland con cilindro de 7,5 cm de diámetro y 7,5 cm de largo para tomar muestras no disturbadas (Klute A. y Dirksen C., 1986; Forsythe W., 1985).

Distribución del tamaño de poros ( $\mu\text{m}$ ) por el método de desabsorción de agua, aplicando la ecuación de Kelvin (Danielson R. y Sutherland P., 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 W., 1985).

Densidad aparente ( $\text{t m}^{-3}$ ) 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 W., 1985; Blake G. y Hartge K., 1986).

La porosidad total ( $S_t$ ), se calculó de la densidad aparente, asumiendo una densidad de partículas de  $2,65 \text{ t m}^{-3}$ . Danielson R. y Sutherland P. (1986), sugieren que asumir ésta densidad al estimar la porosidad total se estaría cometiendo un error menor del 5%. La capacidad de agua disponible (AWC), se calculó de sustraer el contenido de agua volumétrica a 1500 kPa (Punto de marchitez permanente) al contenido de agua volumétrica a 33 kPa (Capacidad de campo).

Resistencia a la penetración ( $\text{kg cm}^{-2}$ ), se midió con el penetrómetro de bolsillo tipo estático y la resistencia tangencial al corte ( $\text{kg cm}^{-2}$ ) con el aparato de torsión con cuchillas "TORVANE" (Cat No. CL-600, Torvane vane Shear, de la Soil Test, 2205 Lee St., Evanston, Illinois 60202, USA), se midió la humedad del suelo al momento de medir ambas variables (Forsythe W., 1985).

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con siete tratamientos, tres repeticiones y tres submuestreos, para el examen de la variabilidad relativa de las propiedades físicas entre los tratamientos se utilizó el análisis de varianza con

submuestreo, cuyo modelo lineal aditivo es el siguiente: (Steel, R. y Torrie, J., 1985).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \tau_i + e_{ij} + \delta_{ijk}$$

donde:

$Y_{ijk}$  = variable dependiente

$\mu$  = media poblacional

$\beta_j$  = efecto del j ésimo bloque

$\tau_i$  = efecto del i ésimo tratamiento

$e_{ij}$  = error experimental

$\delta_{ijk}$  = error de muestreo

Para la curva de retención de humedad se ajustó el modelo de regresión  $Y = A * e^{B*x}$ , donde Y es la proporción de agua volumétrica y X la presión (P<sup>r</sup>). Para la curva de distribución de poros se ajustó el modelo de regresión  $Y = A + B \ln(X)$  donde Y es la fracción de poros y X es el diámetro de poros ( $\mu\text{m}$ ).

La estabilidad estructural del suelo fué determinada, con ligera modificación, por el método de tamizado en húmedo, seleccionando agregados del suelo menores que 4.75 mm y mayores que 2.00 mm, se pesó una muestra de 50 gr, la cual fué colocada en el tamiz superior de una serie de tamices graduados

desde 2.00 mm, 1.00 mm, 0.5 mm hasta 0.21 mm respectivamente y sumergida en agua hasta saturarla, para someterla a doscientas oscilaciones rítmicamente verticales, simulando la acción desintegradora del flujo del agua en el suelo. Al final de las oscilaciones los tamices fueron sacados del agua y los agregados que permanecieron en cada tamiz fueron separados simultáneamente de las partículas de arena haciendo uso de una solución dispersante (Hexametáfosfato de sodio 20%) y puestos a secar en estufa a 105 °C y pesados (Hillel D., 1980; Kemper W., 1965).

La corrección por arena, para evitar su falsa designación como agregado, se realizó por la fórmula siguiente :

$$\% \text{ Agregados estables} = \frac{| W_a - W_{ar} | * 100}{W_m - W_{ar}}$$

$W_a$  = peso de agregados

$W_{ar}$  = peso de arena

$W_m$  = peso de la muestra

Los resultados sobre la estabilidad de los agregados al agua se expresaron por el diámetro promedio por peso (Youker R. y McGuinness J., 1957; Hillel D., 1980) y el análisis de varianza para ésta

variable, ya que no se realizó submuestreo, siguió el siguiente modelo lineal aditivo :

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + e_{ij}$$

Significados iguales que los términos en el modelo anterior.

Se utilizó la Prueba de Rangos Múltiples de TUKEY ( $p \leq 0.05$ ) para comparar las medias de las variables estudiadas y los análisis de varianzas se realizaron por el procedimiento del Modelo General Linear (PROC GLM) del Sistema de Análisis Estadístico (SAS). (SAS, 1989).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Curvas de Retención de humedad

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 esta demanda, de manera que es importante conocer las características de retención de humedad del mismo. Los resultados para ésta se presentan en el Cuadro no. 1 y se observa que en el estrato superficial de suelo de 0 a 10 cm, el tratamiento con estiércol de vaca significativamente presentó las mayores proporciones de retención de humedad (0,539, 0,448, 0,393, y 0,437  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  a las presiones de 1, 10, 500 y 1500 kPa respectivamente), excepto a 100 y 33 kPa a las que la aplicación de "Mulch" de Gmelina fué el que mayores valores registró (0,574 y 0,511  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), en este orden el tratamiento control mostró los menores valores de retención de humedad (0,501, 0,468, 0,421, 0,386, 0,341 y 0,334  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) a las diferentes presiones respectivamente, contrario al sistema en callejones con Gliricidia que presentó la menor proporción de retención de humedad (0,339  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) a 500 kPa, los demás tratamientos mostraron un comportamiento similar a ésta tensión

CUADRO No. 1                      Valores medios de retención de humedad y capacidad de agua disponible a diferentes presiones, profundidad de 0 a 10 cm.

Tratamientos	Presión en kPa						AWC cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
	1	10	33	100	500	1500	
Callejones de Erythrina	0,523 ab	0,489 ab	0,449 b	0,401 bc	0,353 ab	0,362 b	0,087 ab
Control	0,501 b	0,468 b	0,421 b	0,386 c	0,341 b	0,334 b	0,087 ab
Estiércol de vaca	0,571 a	0,539 a	0,505 a	0,448 a	0,393 a	0,437 a	0,074 ab
"Mulch" de Gliricidia	0,522 ab	0,494 ab	0,449 b	0,404 bc	0,364 ab	0,374 ab	0,074 ab
"Mulch" de Guelina	0,574 a	0,504 ab	0,511 a	0,430 ab	0,389 a	0,401 ab	0,110 a
Callejones de Gliricidia	0,532 ab	0,480 b	0,449 b	0,396 bc	0,339 b	0,363 b	0,086 ab
"Mulch" de Erythrina	0,531 ab	0,485 ab	0,449 b	0,406 bc	0,383 a	0,384 ab	0,065 b
CV %	3,85	3,94	3,40	3,22	3,81	6,82	17,78

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

no registrando diferencias significativas por la prueba de Tukey al nivel de 5%. Estos resultados concuerdan con la mayoría de los trabajos reportados por varios autores, en los que los tratamientos con "Mulch" al suelo favorecen en forma significativa la retención de humedad del suelo con respecto a la no aplicación de "Mulch" y/o sistemas de labranzas.

En el Cuadro no. 1 se observa que para la capacidad de agua disponible (AWC), la aplicación de "Mulch" de Gmelina superó significativamente al tratamiento con "Mulch" de Erythrina, en la profundidad de 0 a 10 cm, y registró un comportamiento similar a las demás aplicaciones de enmiendas orgánicas, con las que no registró diferencias significativas.

La figura 1a muestra la tendencia de las curvas de retención de humedad de los sistemas en callejones con Erythrina y Gliricidia contra el tratamiento control y se observa que éste último presentó la menor proporción de retención de humedad en las presiones determinadas.

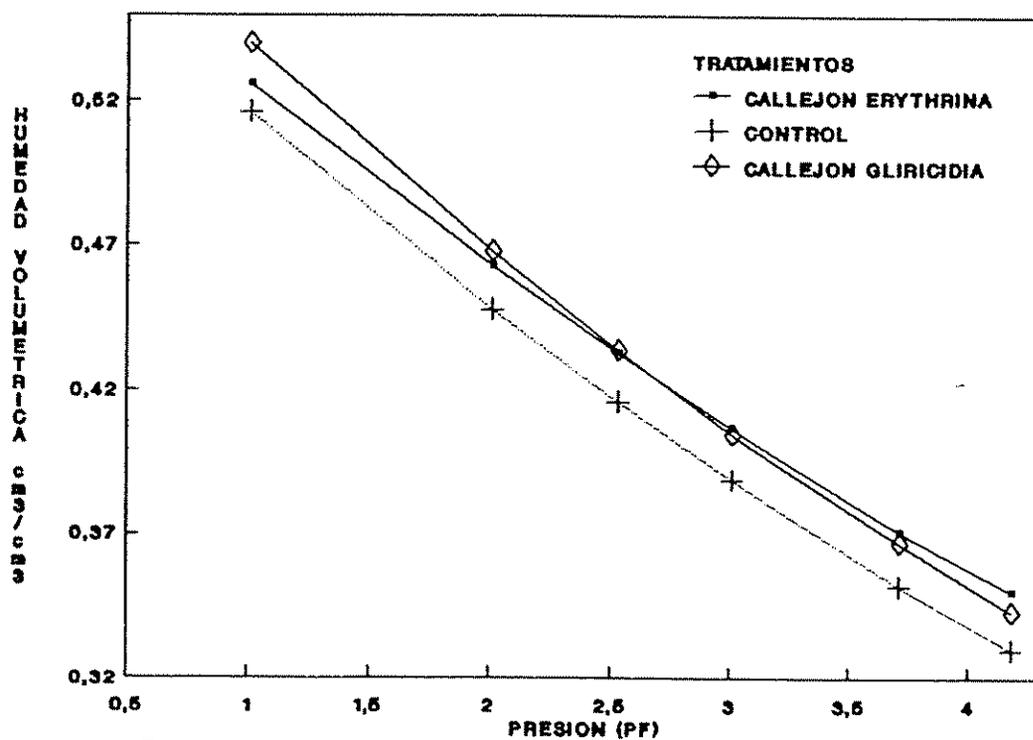


Figura 1a Curva de retención de humedad del suelo del tratamiento control vs sistemas con Erythrina y Gliricidia, 0 a 10 cm.

En el Cuadro no. 2 se observa que en el estrato del suelo entre 10 y 20 cm no hubo diferencias significativas cuando se realizó el análisis de varianza, observandose lo contrario a tensión de 1500 kPa donde la aplicación de estiércol de vaca mostró la mayor proporción de retención de agua ( $0,344 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), siendo superior a los

CUADRO No. 2                      Valores medios de retención de humedad y capacidad de agua disponible a diferentes presiones, profundidad de 10 a 20 cm.

Tratamientos	Presión en kPa						AWC	
	1	10	33	100	500	1500	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
Callejones de Erythrina	0,508 a	0,454 a	0,398 a	0,373 a	0,322 a	0,321 ab	0,077 a	
Control	0,498 a	0,425 a	0,384 a	0,377 a	0,326 a	0,307 b	0,077 a	
Estiércol de vaca	0,570 a	0,460 a	0,426 a	0,390 a	0,337 a	0,344 a	0,082 a	
*Mulch* de Gliricidia	0,529 a	0,470 a	0,412 a	0,381 a	0,328 a	0,326 ab	0,086 a	
*Mulch* de Gmelina	0,488 a	0,427 a	0,401 a	0,383 a	0,322 a	0,323 ab	0,078 a	
Callejones de Gliricidia	0,512 a	0,432 a	0,389 a	0,378 a	0,328 a	0,330 ab	0,076 a	
*Mulch* de Erythrina	0,491 a	0,416 a	0,389 a	0,366 a	0,313 a	0,305 b	0,084 a	
CV %	6,04	4,79	3,84	2,90	2,78	3,64	14,65	

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

tratamientos control ( $0,307 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) y "Mulch" de Erythrina ( $0,305 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) a la prueba de Tukey al nivel de 5%, semejantes resultados fueron obtenidos por Sommerfeldt T. y Chang C. (1987) donde aplicando diferentes cantidades de estiércol observaron diferencias sólo a la tensión de 1500 kPa en las profundidades de 0 a 15 y 15 a 30 cm en un suelo Mollisol. Un comportamiento similar se registró entre los demás tratamientos sin que haya diferencias significativas siendo los valores  $0,330$ ,  $0,326$ ,  $0,323$ ,  $0,321$ ,  $0,307$  y  $0,305 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , para callejones con Gliricidia, "Mulch" de Gliricidia, "Mulch" de Gmelina, callejones con Erythrina, control y "Mulch" de Erythrina respectivamente. Para la capacidad de agua disponible (AWC) a profundidad de 10 a 20 cm, el Cuadro no. 2 muestra los resultados y sobre los mismos no se observó diferencias significativas cuando se realizó el análisis de varianza.

La figura 1b muestra las curvas de retención de humedad entre los tratamientos con estiércol de vaca y "Mulch" de Gmelina y se observa que superaron a las aplicaciones de Mulches de Erythrina y Gliricidia, y el tratamiento control registra los

menores valores de retención de humedad a las presiones medidas.

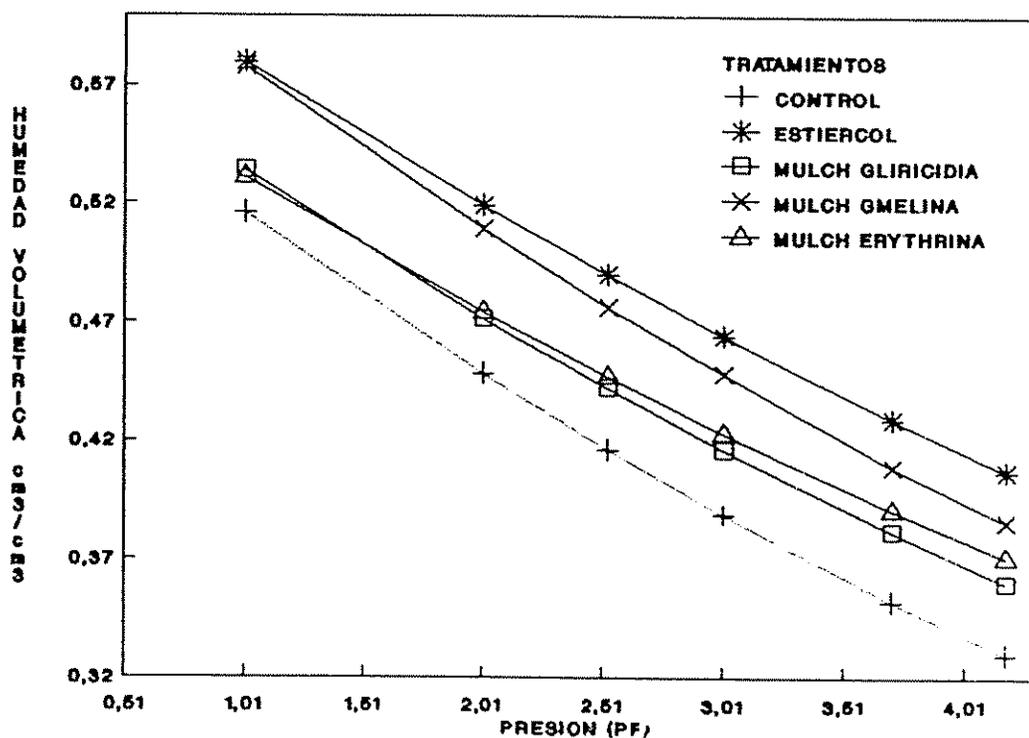


Figura 1b. Curvas de retención de humedad del suelo del tratamiento control vs Mulches y estiércol de vaca. 0 a 10 cm

El comportamiento de los sistemas en callejones y las aplicaciones de estiércol y Mulches contra el control registraron una diferencia muy pequeña entre los tratamientos (figura 2a), ligeras diferencias se observó entre los tratamientos con "Mulch" de

Gliricidia y estiércol de vaca que retienen más humedad que los demás tratamientos (figura 2b).

#### 4.2. Distribución de poros

La porosidad es una propiedad del suelo importante para el desarrollo de los cultivos pero no sólo 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 las raíces, transmisión y retención de agua, etc. El Cuadro no. 3 presenta los valores de la distribución de poros y se observa que la fracción de poros mayores de 290  $\mu\text{m}$ , en el estrato de 0 a 10 cm, el tratamiento con estiércol de vaca superó significativamente al sistema de callejones con Erythrina, "Mulch" de Gliricidia y control, de igual manera la aplicación de "Mulch" de Gmelina resultó ser más favorable que la de "Mulch" de Gliricidia y que el control.

Para fracción de poros mayores de 29  $\mu\text{m}$  el sistema en callejones con Gliricidia y el tratamiento control registraron los menores valores

CUADRO No. 3

Distribución de espacio poroso por tratamiento,  
profundidad de 0 a 10 cm.

Tratamientos	Porosidad total	Fracción de espacio poroso en $\mu$					
		> 290	> 29	> 9	> 3	> 0.6	> 0.2
Estiércol de vaca	0,587 a	0,972 a	0,920 a	0,861 a	0,763 a	0,669 a	0,746 a
"Mulch" de Geelina	0,595 a	0,965 ab	0,847 ab	0,858 a	0,723 ab	0,656 ab	0,673 ab
"Mulch" de Erythrina	0,585 a	0,908 abc	0,827 ab	0,766 b	0,692 ab	0,655 ab	0,656 ab
Callejones de Elicricidia	0,595 a	0,899 abc	0,806 b	0,754 b	0,664 b	0,570 b	0,609 b
Callejones de Erythrina	0,598 a	0,876 bc	0,819 ab	0,751 b	0,672 b	0,592 ab	0,605 b
"Mulch" de Elicricidia	0,605 a	0,864 c	0,830 ab	0,742 b	0,670 b	0,604 ab	0,619 b
Control	0,594 a	0,845 c	0,787 b	0,708 b	0,650 b	0,573 b	0,562 b
CV %	2,12	3,47	4,78	3,23	3,71	5,15	4,45

Medias con las mismas letras no son diferentes estadísticamente  
Tukey p < 0.05.

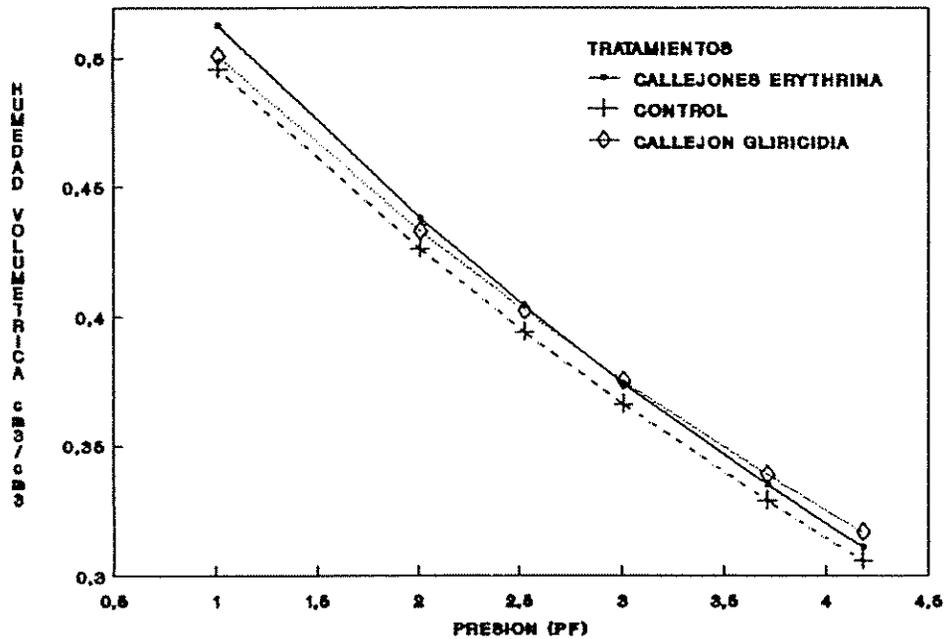


Figura 2a. Curvas de retención de humedad del suelo del tratamiento control vs callejones Erythrina y Gliricidia, 10 a 20 cm.

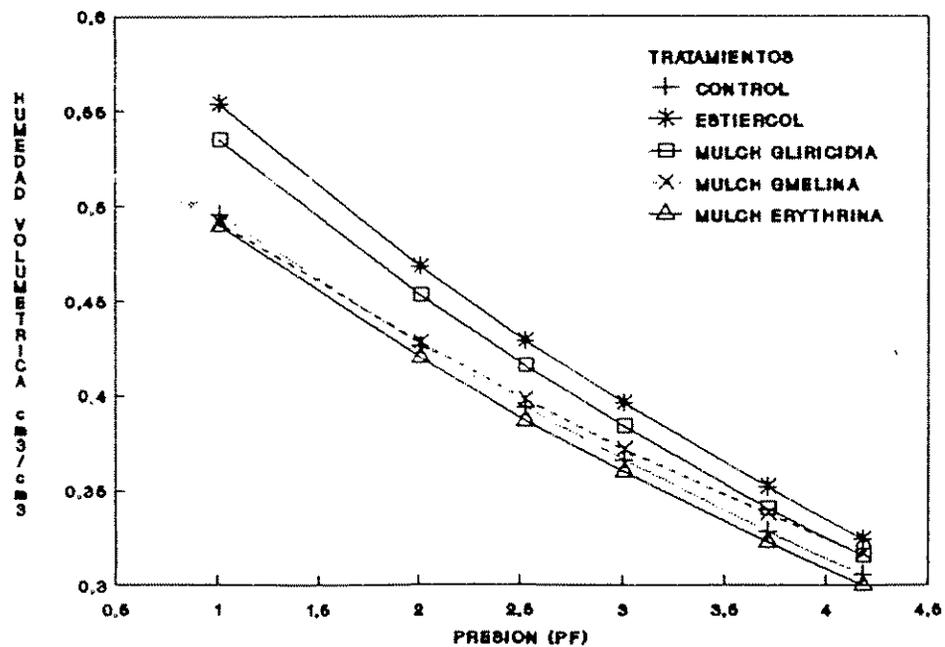


Figura 2b. Curvas de retención de humedad del suelo del tratamiento control vs Mulches y estiércol de vaca, 10 a 20 cm.

de espacio poroso sin mostrar diferencias significativas entre ellos, para diámetros de poros mayores de 9  $\mu\text{m}$  los tratamientos con estiércol de vaca y "Mulch" de Gmelina fueron los mejores, sin diferencias significativas entre ellos, pero sí entre éstos con los demás, resultando el control con menor fracción de poros a éste diámetro. Para fracciones de poros mayores de 3  $\mu\text{m}$ , la aplicación de estiércol de vaca superó a los demás tratamientos observándose un comportamiento similar entre éste con la aplicación de "Mulches" de Gmelina y Erythrina. Para la fracción de poros mayores de 0.6  $\mu\text{m}$  ocurrió lo mismo que para la fracción de poros mayores de 29  $\mu\text{m}$ , pero con valores más bajos, de igual manera ocurrió para la fracción de poros mayores de 0.2  $\mu\text{m}$  en donde la aplicación de estiércol de vaca sigue siendo superior respecto a los demás tratamientos, presentando el control de nuevo, la menor fracción porosa.

La figura 3a muestra la distribución de poros de los tratamientos estiércol de vaca y "Mulch" de Erythrina vs control respectivamente a profundidad de 0 a 10 cm, donde se observa que los dos primeros tratamientos con respecto al control fueron superiores en cantidad de poros de transmisión y

almacenamiento, según la terminología de Greenland (1977); que son aquellos poros mayores que 50  $\mu\text{m}$  y entre 0.5 y 50  $\mu\text{m}$  respectivamente.

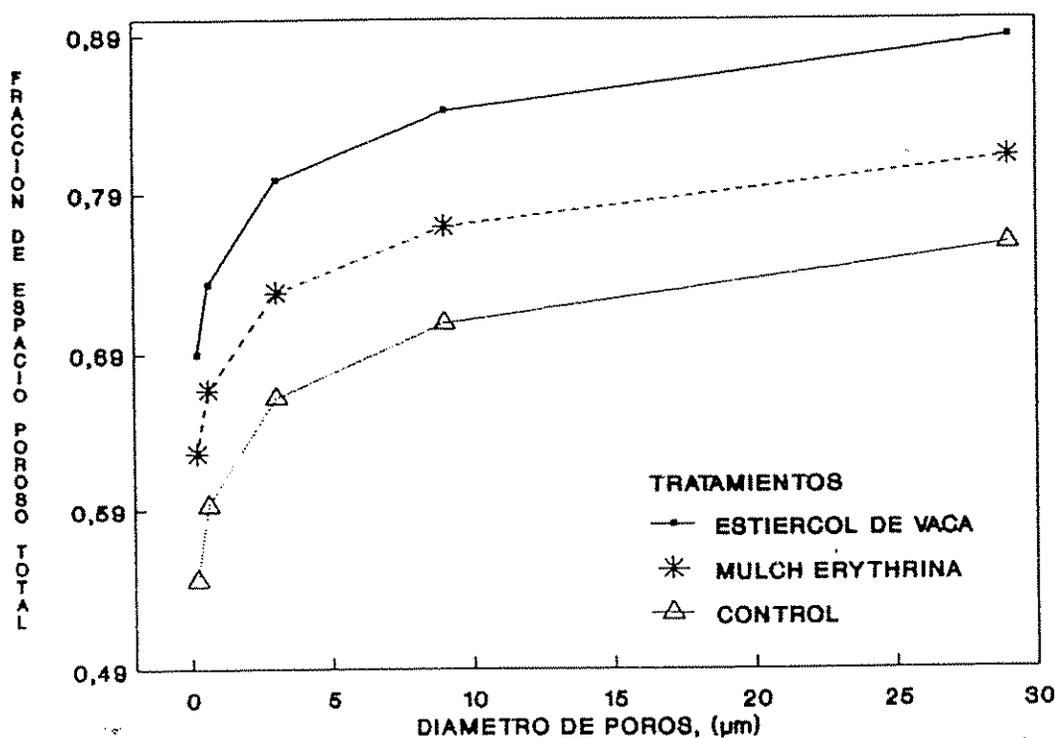


Figura 3a. Distribución del tamaño de poros del tratamiento control vs Mulch de Erythrina y estiércol de vaca, 0 a 10 cm.

En este mismo orden la figura 3b muestra la distribución de poros para los tratamientos con "Mulch" de Gmelina y Gliricidia vs tratamiento

control y se observa una mayor cantidad de poros grandes de los dos primeros con respecto al control.

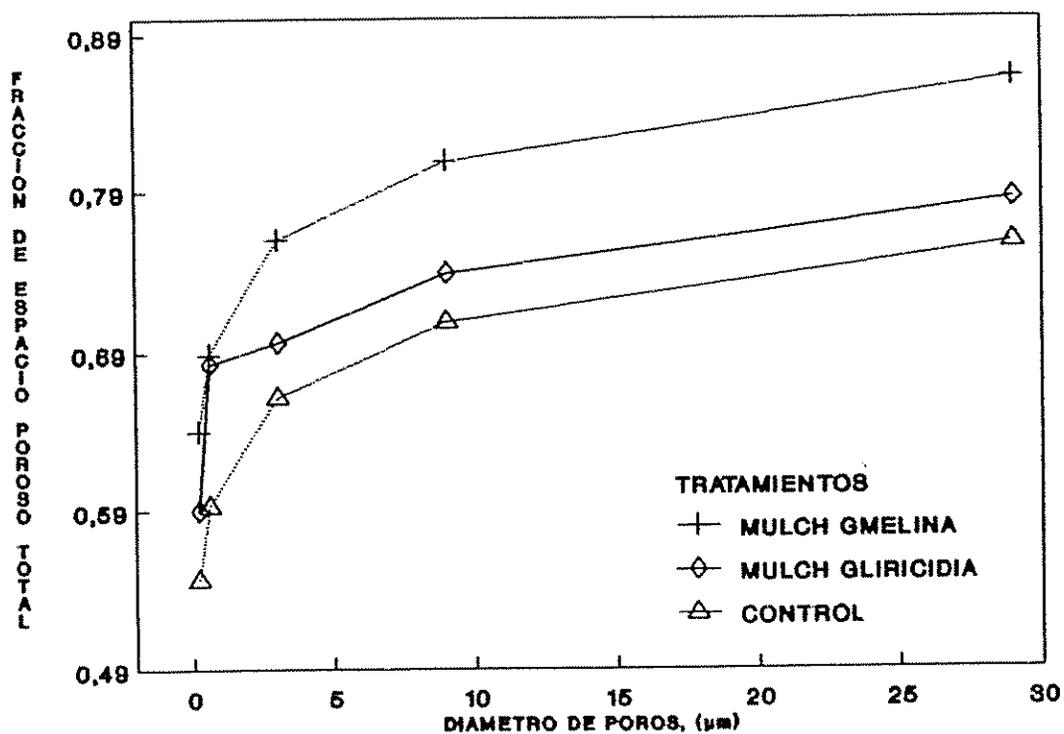


Figura 3b. Distribución del tamaño de poros del tratamiento control vs Mulches de Gmelina y Gliricidia, 0 a 10 cm.

La figura 3c muestra la distribución de poros de los sistemas de cultivos en callejones con Gliricidia y Erythrina vs control y se observa que entre los dos primeros existe una distribución

similar y con mayor proporción de poros grandes que el control.

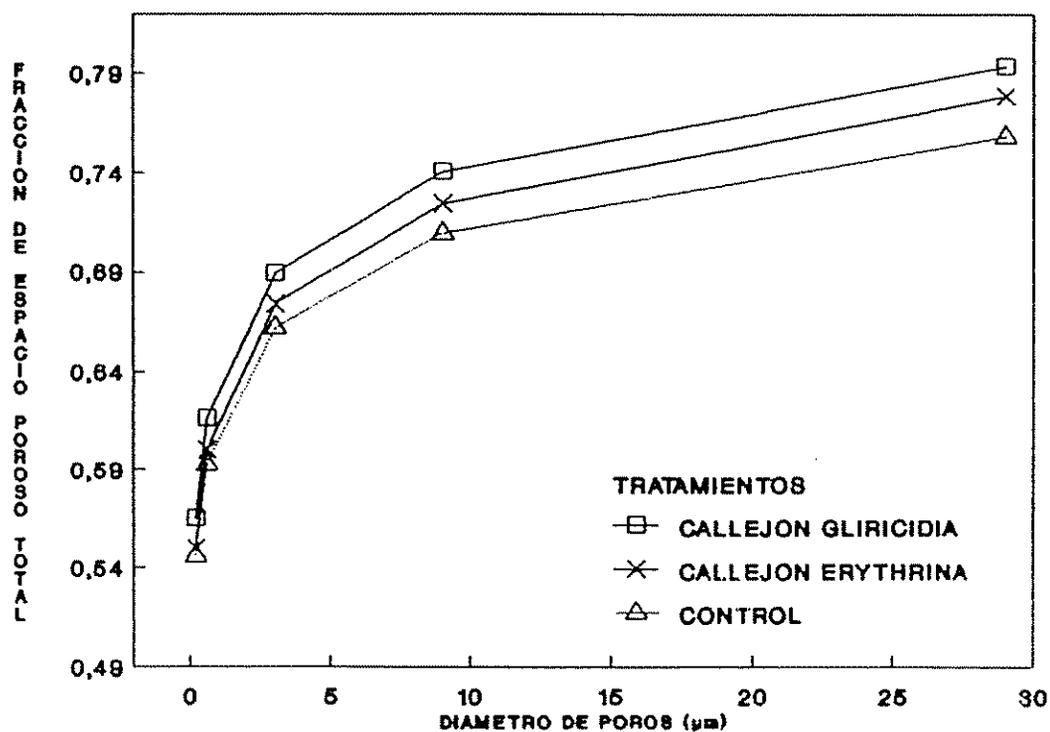


Figura 3c. Distribución del tamaño de poros del tratamiento control vs callejones con Erythrina y Gliricidia, 0 a 10 cm.

En el Cuadro no. 4 se presentan los resultados de la distribución de poros a profundidad entre 10 y 20 cm y se observa que para la fracción de poros mayores de 290 µm se obtuvo diferencias

CUADRO No. 4

Distribución de espacio poroso por tratamiento,  
profundidad de 10 a 20 cm

Tratamientos	Porosidad total	Fracción de espacio poroso en $\mu\text{m}$					
		> 290	> 29	> 9	> 3	> 0.6	> 0.2
Estiércol de vaca	0,606 a	0,938 a	0,759 a	0,703 a	0,645 a	0,557 a	0,568 a
"Mulch" de Guelina	0,615 a	0,794 b	0,694 a	0,652 ab	0,625 a	0,525 a	0,525 ab
"Mulch" de Erythrina	0,599 a	0,821 ab	0,695 a	0,651 ab	0,612 a	0,523 a	0,510 ab
Callejones de Gliricidia	0,604 a	0,848 ab	0,716 a	0,645 b	0,627 a	0,544 a	0,545 ab
Callejones de Erythrina	0,608 a	0,835 ab	0,747 a	0,655 ab	0,613 a	0,530 a	0,528 ab
"Mulch" de Gliricidia	0,617 a	0,855 ab	0,761 a	0,667 ab	0,619 a	0,532 a	0,528 ab
Control	0,607 a	0,820 ab	0,699 a	0,632 b	0,622 a	0,538 a	0,505 b
CV %	1,69	5,12	10,58	2,89	4,10	3,98	4,10

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

significativas entre la aplicación de estiércol de vaca y "Mulch" de Gmelina siendo el primero superior y de comportamiento similar a los demás tratamientos, para la fracción de poros mayores de  $29 \mu\text{m}$  no hubo diferencias entre los tratamientos cuando se realizó el análisis de varianza, para fracción de poros mayores  $9 \mu\text{m}$  la aplicación de estiércol de vaca superó significativamente los valores del sistema en callejones con Gliricidia y el tratamiento control, siendo éstos similares y sin registrarse diferencias significativas entre los demás tratamientos, para fracción de poros mayores de  $3 \mu\text{m}$  y que  $0.6 \mu\text{m}$  no se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos, no resultando así para las fracción de  $0.2 \mu\text{m}$  donde la aplicación de estiércol de vaca superó el control y mostró un comportamiento similar con los demás tratamientos.

En la figura 4a se muestra el comportamiento de las aplicaciones de "Mulch" de Erythrina y Gliricidia vs control y se observa que el tratamiento con "Mulch" de Gliricidia resultó con mayor cantidad de poros grandes que los dos restantes.

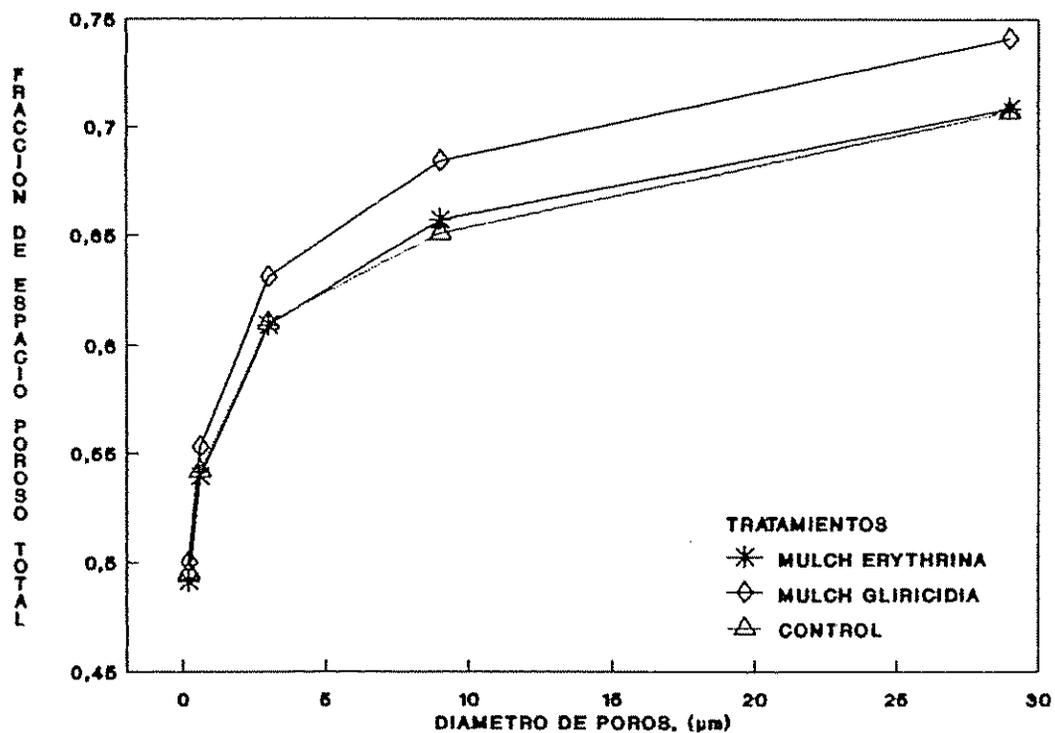


Figura 4a. Distribución del tamaño de poros del tratamiento control vs Mulch de Erythrina y Gliricidia, 10 a 20 cm.

La figura 4b muestra la distribución de poros para los sistemas en callejones vs control y se observa una distribución similar entre los dos sistemas y una mayor proporción de poros grandes que la observada para el control.

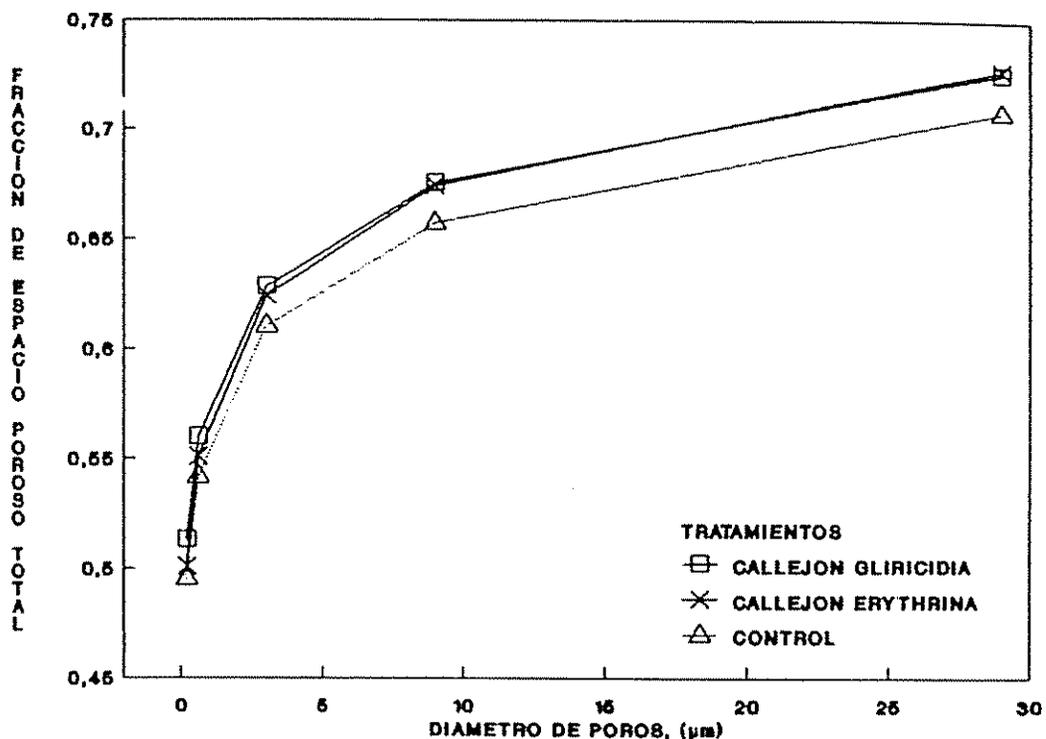


Figura 4b Distribución del tamaño de poros del tratamiento control vs callejones con Erythrina y Gliricidia, 10 a 20 cm.

La figura 4c muestra la distribución de poros para la aplicación de estiércol de vaca y "Mulch" de Gmelina vs control y se observa que la aplicación de estiércol de vaca superó significativamente la de "Mulch" de Gmelina y el control siendo la distribución de poros de transmisión y almacenamiento entre estos últimos muy similar.

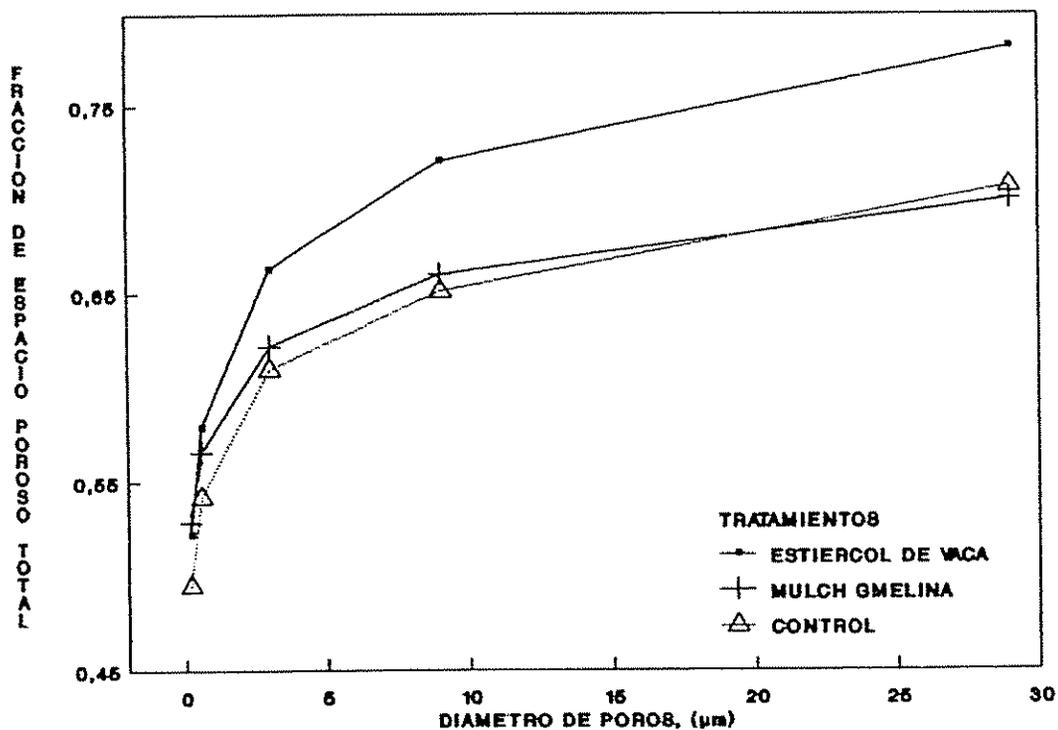


Figura 4c. Distribución del tamaño de poros del tratamiento control vs Mulch de Gmelina y estiércol de vaca, 10 a 20 cm.

Tanto la resistencia al corte como la resistencia a la penetración son propiedades del suelo que miden el estado de compactación del mismo, propiedades importante que indican el esfuerzo que deben ejercer las plantas para expandir sus raíces.

### 4.3. Resistencia al corte

En el Cuadro no. 5 los resultados destacan para ésta variable que, en el estrato entre 0 y 10 cm, el tratamiento control mostró el mayor valor ( $0,602 \text{ kg cm}^{-2}$ ) de resistencia al corte, siendo superior a los sistemas en callejones con *Erythrina* y *Gliricidia* respectivamente y similar a los demás tratamientos. El análisis de correlación entre la resistencia al corte y la humedad del suelo muestra una relación negativa ( $r=-0,51$ ) altamente significativa (99,9%), por cuanto podemos inferir en la importancia de los tratamientos sobre la humedad del suelo y así sobre la resistencia al corte ya que el tratamiento control mostró el menor valor de humedad volumétrica ( $0,385 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Howard R. et al (1981), confirman la importancia del contenido de agua en la compactación.

En el Cuadro no. 6 se muestran los resultados a profundidad de 10 a 20 cm, en donde los tratamientos registraron un comportamiento similar en cuanto a la resistencia al corte, sin mostrar diferencias significativas a la prueba de Tukey al nivel de 5% a pesar de observarse diferencias significativas en el

CUADRO No. 5 Valor medio de la resistencia al corte y la respectiva humedad por tratamiento a profundidad de 0 a 10 cm.

Tratamientos	resistencia al corte kg cm <sup>-2</sup>	humedad cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
Control	0,602 a	0,385 b
Estiércol de vaca	0,580 a b	0,481 a
"Mulch" de Gmelina	0,565 a b	0,476 a
"Mulch" de Gliricidia	0,557 a b	0,435 a b
"Mulch" de Erythrina	0,533 a b c	0,465 a
Callejones de Erythrina	0,520 b c	0,474 a
Callejones de Gliricidia	0,486 c	0,433 a b
CV %	4,40	4,75

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

CUADRO No. 6 Valor medio de la resistencia al corte y la respectiva humedad por tratamiento a profundidad de 10 a 20 cm.

Tratamientos	resistencia al corte kg cm <sup>-2</sup>	humedad cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
Control	0,517 a	0,384 c d
Estiércol de vaca	0,533 a	0,428 a
"Mulch" de Gmelina	0,462 a	0,419 a b
"Mulch" de Gliricidia	0,483 a	0,413 a b c
"Mulch" de Erythrina	0,469 a	0,378 d
Callejones de Erythrina	0,483 a	0,421 a b
Callejones de Gliricidia	0,447 a	0,396 b c d
CV %	6,97	2,56

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

contenido de humedad siendo el tratamiento con estiércol de vaca el de mayor valor.

El análisis de correlación entre la resistencia al corte y la humedad volumétrica observó una baja relación negativa ( $r=-0,25$ ) con probabilidad significativa a 95%.

#### 4.4. Resistencia a la penetración

Para esta variable, los resultados se muestran en el Cuadro no. 7 y se observa que el sistema de cultivos en callejones con Gliricidia, a profundidad de 0 a 10 cm, registró el mayor valor de resistencia a la penetración ( $2,72 \text{ kg cm}^{-2}$ ) junto a los tratamientos con estiércol de vaca y el control ( $2,43$  y  $2,62 \text{ kg cm}^{-2}$  respectivamente) superando significativamente a la aplicación de "Mulches" de Gliricidia, Erythrina y Gmelina respectivamente, sin que haya diferencias entre éstos últimos. En cuanto al contenido de humedad no se registró diferencias significativas, el análisis de correlación muestra una relación negativa ( $r=-0,76$ ) altamente significativa (99,9%). Estos resultados concuerdan con lo observado por Lal R. *et*

CUADRO No. 7 Valor medio de la resistencia a la penetración y la respectiva humedad por tratamiento a profundidad de 0 a 10 cm.

Tratamientos	resist.a la penetración kg cm <sup>-2</sup>		humedad cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	
Control	2,62	a	0,418	a
Estiércol de vaca	2,43	a	0,457	a
"Mulch" de Gmelina	1,73	c	0,497	a
"Mulch" de Gliricidia	1,94	a b c	0,472	a
"Mulch" de Erythrina	1,84	b c	0,474	a
Callejones de Erythrina	1,94	a	0,467	a
Callejones de Gliricidia	2,72	a	0,406	a
CV %	13,13		9,20	

Medias con las mismas letras no son diferentes estadísticamente Tukey (p<0.05).

al (1980) sobre un Alfisol en Nigeria, donde parcelas no tratadas o con baja aplicación de "Mulch" presentaban costras y estaban compactadas en la superficie, a pesar de la aplicación de 20.000 kg ha<sup>-1</sup> de "mulch" de Gliricidia, ésta tiene una baja relación C/N, lo que favorece la rápida descomposición por los microorganismos del suelo (Budelman A., 1989) y podríamos suponer que se encuentren al mismo nivel los tratamientos control, estiércol de vaca y "Mulch" de Gliricidia al momento de registrar los datos y los mismos estarían influenciando otras propiedades. Howard R. et al (1981), sugieren que el contenido de materia orgánica podría tener un efecto mayor que otro componente del suelo (i. e. contenido de arena) sobre la compactación del suelo

El Cuadro no.8 muestra los resultados a profundidad de 10 a 20 cm. No se registró diferencias significativas entre los tratamientos, tanto para la resistencia a la penetración, como para el contenido de humedad volumétrica, el análisis de correlación muestra una relación negativa muy baja ( $r = -0,08$ ) no significativa. Podríamos inferir entonces que la variabilidad causada por los tratamientos tiene sus efectos en el

CUADRO No. 8 Valor medio de la resistencia a la penetración y la respectiva humedad por tratamiento a profundidad de 10 a 20 cm

Tratamientos	resist.a la penetración kg cm <sup>-2</sup>		humedad cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	
Control	2,17	a	0,379	a
Estiércol de vaca	1,82	a	0,424	a
"Mulch" de Gmelina	2,00	a	0,412	a
"Mulch" de Gliricidia	1,92	a	0,409	a
"Mulch" de Erythrina	1,57	a	0,367	a
Callejones de Erythrina	1,73	a	0,399	a
Callejones de Gliricidia	1,86	a	0,391	a
CV %	13,46		6,65	

Medias con las mismas letras no son diferentes estadísticamente Tukey (p<0.05).

estrato superficial del suelo, debido a que la aplicación de enmiendas es a la superficie y no se incorpora, lo que favorece una actividad de lombrices por lo que queda expuesta a la fácil compactación aún a ligero tráfico (Lal R. y Cummmings D., 1979).

#### 4.5. Conductividad Hidráulica

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. La conductividad hidráulica mide ésta propiedad.

En el Cuadro no. 9 se muestran los resultados de la conductividad hidráulica saturada. Pruebas para normalidad usando la estadística de Barttlet (Anderson V., 1974), indicaron que la conductividad hidráulica no fué normalmente distribuida a profundidad de 0 a 10 cm. Sin embargo,  $\log_{10}$  de la conductividad hidráulica saturada no difiere significativamente de la distribución normal. Otros estudios también han mostrado que los valores de la conductividad hidráulica tienen una distribución

CUADRO No. 9 Conductividad hidráulica saturada y media relativa de los tratamientos, a dos profundidades.

Tratamientos	valor medio en $\text{cm h}^{-1}$		media relativa (%)	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	0 a 10 cm	10 a 20 cm
Callejón de Erythrina	29,403 a	30,726 a	260	124
"Mulch" de Gmelina	26,127 a	24,732 a	231	100
"Mulch" de Gliricidia	23,684 a	29,658 a	209	120
"Mulch" de Erythrina	20,967 a	31,183 a	185	126
Callejón de Gliricidia	15,627 a	47,836 a	138	193
Control	14,501 a	26,094 a	128	105
Estiércol de vaca	11,324 a	29,060 a	100	117
CV %	10,98	28,05		

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

normalmente logarítmica (Nielsen D. et al, 1973; Baker F. y Bouma J., 1976). Por tanto la transformación logarítmica de los valores de la conductividad hidráulica fueron usados en el análisis de varianza.

El análisis de varianza para ambas profundidades (0 a 10 y 10 a 20 cm) no muestra diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, una diferencia relativa se observó, a profundidad de 0 a 10 cm, cuando se hizo corresponder el tratamiento estiércol de vaca con el 100%, los tratamientos con callejones de Erythrina, Mulches de Gmelina y Gliricidia lo superan en un poco más del doble y en menor proporción los tratamientos con "Mulch" de Erythrina, callejones de Gliricidia y control. La explicación de este comportamiento pareciera estar en que el estiércol de vaca al poseer partículas de menor tamaño que los demás tratamientos, obtura los poros grandes y de esta manera reduce la conductividad hidráulica saturada. A profundidad de 10 a 20 cm, las diferencias fueron menores variando desde menos de una quinta parte hasta próximo al doble para los tratamientos con callejones de Gliricidia y "Mulch" de Gmelina respectivamente.

La caracterización de la conductividad hidráulica saturada fué la que mayor coeficiente de variación (CV) presentó debido quizás a la variabilidad en la actividad biológica presente, a la mayor o menor cantidad de "Mulch" y al tipo de cobertura vegetal (Juo A. y Lal R. 1977) y al movimiento de partículas pequeñas, que obturan los poros de transmisión. Sin embargo, Warrick A. y Nielsen D. (1980) reportan que el CV para la conductividad hidráulica es alto (i. e. 190 % cuando se expresa en cm por hora), a pesar de que si en éste trabajo el CV se calcula con el error de muestreo, aún sigue siendo menor que el reportado por estos autores.

#### 4.6. Densidad aparente

Los resultados de medir esta variable se presentan en el Cuadro no. 10. Se observa que todos los tratamientos para ambas profundidades, de 0 a 10 y 10 a 20 cm, registraron un comportamiento similar sin diferencias significativas cuando se realizó el análisis de varianza. Semejante resultado fué obtenido por Lal R. *et al* (1978) con cultivos de cobertura comparado con el control a las mismas profundidades entre 0 a 10 y 10 a 20 cm. Sin embargo, podemos señalar que la densidad aparente

CUADRO No. 10 Densidad aparente promedio por tratamientos, a dos profundidades

Tratamientos	valor medio en $t\ m^{-3}$	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm
Callejones de Erythrina	1,07 a	1,04 a
"Mulch" de Gmelina	1,07 a	1,02 a
"Mulch" de Gliricidia	1,05 a	1,01 a
"Mulch" de Erythrina	1,10 a	1,06 a
Callejones de Gliricidia	1,07 a	1,05 a
Control	1,07 a	1,04 a
Estiércol de vaca	1,09 a	1,04 a
CV %	3,10	2,62

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

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 (Adams W. 1973) y tiene un efecto dominante sobre la misma (Curtis R. y Post B., 1964; Jeffrey D. 1970).

#### 4.7. Estabilidad de agregados

En el Cuadro no. 11 se presentan los valores para ambas profundidades, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la media ponderada de los agregados de diferentes diámetros. El análisis de correlación entre el diámetro promedio por peso y el porcentaje de agregados estables de la fracción de 2,00 mm resultó altamente significativo (99,9%) y el coeficiente de correlación ( $r$ ) positivo igual a 0,92 a profundidad de 0 a 10 cm, para la profundidad de 10 a 20 cm el coeficiente de correlación fué positivo ( $r= 0,99$ ) y altamente significativo (99,9%) lo cual asegura que la media de los agregados estuvo bien representada por el diámetro promedio por peso para medir la estabilidad estructural, éstos resultados concuerdan con lo observado por Schaller F. y Stockinger K. (1953). Yamoah C. et al (1986b).

CUADRO No. 11 Diámetro promedio por peso para la estabilidad de agregados por tratamientos, a dos profundidades

Tratamientos	Diámetro promedio por peso (mm)	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm
Callejones de Erythrina	2,295 a	2,007 a
Control	2,262 a	2,151 a
"Mulch" de Gmelina	2,254 a	1,967 a
"Mulch" de Erythrina	2,253 a	2,135 a
Callejones de Gliricidia	2,205 a	2,136 a
Estiércol de vaca	2,195 a	2,296 a
"Mulch" de Gliricidia	2,160 a	2,174 a
CV%	6,81	7,95

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

observó un incremento en el diámetro promedio por peso de los agregados entre los diferentes cultivos en callejones estudiados y sugiere que podría ser debido al continuo abastecimiento en materia orgánica producto de la poda. Se conoce que la materia orgánica favorece la agregación (Robinson D. y Page J., 1950; Hillel D., 1980; Koorevaar P. *et al*, 1983). Incremento en aproximadamente un 50% en el diámetro promedio por peso, producto de la aplicación de 12 toneladas de "Mulch" de paja de arroz sobre un Alfisol en Nigeria es reportado por Lal R. *et al* (1980). Sin embargo, en el experimento de "La Montaña", CATIE, los resultados difieren a lo observado por éstos autores a pesar de que la separación del por ciento de agregados estables en fracciones  $> 2,00$  mm,  $> 1,00$  mm,  $> 0,5$  mm fueron altamente sensibles para expresar el estado de agregación del suelo (Andrew W. *et al*, 1962). Todo parece indicar que la deposición de los residuos de cosechas sobre las parcelas del tratamiento control provee la suficiente cantidad de materia orgánica como para influir sobre la estabilidad de agregados en forma similar a los demás tratamientos.

## 5. DISCUSION GENERAL

Los principales impedimentos físicos del suelo son compactación, erosión, alta temperatura y sequia frecuente; las propiedades físicas del suelo indicativas de éstos impedimentos son la densidad aparente y resistencia a la penetración, infiltración, propiedades de transmisión de agua, las características de retención de humedad y la profundidad de penetración de las raíces. Apropriados sistemas de manejo son aquellos que mantienen esos índices de propiedades a niveles óptimos para la producción de cultivos (Lal R., 1989b).

El estudio de las propiedades físicas del suelo bajo cualquier sistema de manejo resulta difícil por las características inestables y su inconsistencia en el tiempo, por lo que resultan necesarias observaciones subsecuentes para poder caracterizarlas. Lal R. (1989c), observó que en cultivo intensivo para el crecimiento de dos cultivos secuenciales por año (Maíz y Cowpea) por seis años (12 cultivos consecutivos) resultó en una reducción de las propiedades físicas del

suelo, siendo éstas reducciones menores en el sistema alley cropping. Sin embargo, comparativamente pocos datos cuantitativos existen con respecto a los sistemas forestales y agroforestales sobre las propiedades físicas del suelo, así mismo, sobre el impacto de éstos sistemas donde la superficie del suelo entre las hileras de árboles y arbustos es regularmente disturbada por el laboreo en cultivos alimenticios anuales (Lal R., 1989b).

En el experimento de "La Montaña", se cuenta con poca información para comparar los tratamientos de acuerdo a la variabilidad estacional, de las propiedades físicas del suelo, en el tiempo. Se sugieren observaciones subsecuentes para determinar cual tratamiento influye de manera más estable sobre éstas propiedades, pues se observó que no todos los tratamientos con enmiendas orgánicas las favorecen de manera positiva, como es el caso del tratamiento con estiércol de vaca que aumenta la retención de humedad del suelo y los poros grandes, pero reduce la conductividad hidráulica saturada. Así mismo, éste tratamiento mostró estar igualmente compactado

que el tratamiento control por lo que será aconsejable estudiar la distribución de partículas, midiendo la textura, para los tratamientos.

En observaciones subsecuentes resulta aconsejable medir otras propiedades que permitan llegar a conclusiones sobre el comportamiento de otras, por ejemplo la actividad biológica, Lal R. y Cummings D. (1979), señalan que la lombriz de tierra por sus excrementos podría dejar el suelo en la superficie a la fácil compactación aún al ligero tráfico o podría estar influenciando la densidad aparente, según Lal R. y Okigbo B., (1978). La materia orgánica del suelo es otra variable de importancia con todas las restantes, tiene relación significativa con la estabilidad de agregados (Chaney K. y Swift R., 1984), es un factor principal que afecta la densidad aparente (Adams W., 1973; Curtis R. y Post B., 1964).

A pesar de que los sistemas de manejo al suelo con el uso de enmiendas orgánicas se han señalado como tecnología de bajo uso de insumos y sistemas de manejo del suelo sostenibles, los

mismos presentan problemas de uso y manejo. Se ha reportado el problema de disponibilidad de estiércol por su uso como combustible en la India y Paquistán (Singh A., 1974), aunque este no fuera el caso de América Latina, hay que tomar en cuenta el problema de acopio, transporte y distribución. Hoekstra D. (1987), en una revisión sobre sistemas de cultivos en callejones señala que debido al requerimiento de podas es intensivo y como consecuencia, en fincas de baja intensidad de labores, su adopción sería difícil y el costo de producción podría aumentar considerablemente si las labores adicionales tienen que ser contratadas. Young A. (1987), resalta que varios estudios en la India muestran alguna reducción en la producción de cultivos asociados con la presencia de hileras de árboles, siendo una posible causa la remoción de la poda para alimentación de ganado. Sánchez P. (1987), señala los efectos negativos de la aplicación de "Mulch" por incrementar las enfermedades debido a un incremento en los niveles de humedad del suelo en periodos lluviosos, impedimento de la emergencia de las plántulas cuando la capa de "Mulch" es muy gruesa y ciertos casos de alelopatía, entre otros.

## 6. CONCLUSIONES

En este estudio se observó que cualquier aplicación de enmienda orgánica tiene un impacto medible sobre las propiedades físicas del suelo.

1. La aplicación de estiércol de vaca fué el tratamiento que mayor influencia ejerció sobre la retención de humedad en el suelo, superando en forma significativa las demás aplicaciones y la no aplicación de "Mulch" (control) en el estrato de 0 a 10 cm de la superficie del suelo. En el estrato entre 10 y 20 cm la retención de humedad del suelo resultó mayor con la aplicación de estiércol de vaca en el punto de marchitez permanente (1500 kPa) superando la aplicación de ramas y hojas de Erythrina y el control y de comportamiento similar con las demás aplicaciones de enmiendas y sin diferencias para el resto de las tensiones observadas.

2. En ambos estratos de 0 a 10 y 10 a 20 cm la aplicación de estiércol de vaca fué el tratamiento que mayor cantidad de poros de

transmisión y almacenamiento mostró con respecto a los demás, superando significativamente al tratamiento control.

3. Las aplicaciones de enmiendas orgánicas mostraron menores valores de resistencia al corte con respecto al control, en el estrato de 0 a 10 cm de la superficie del suelo, debido a su influencia sobre la humedad del suelo. No se registró diferencias significativas en el estrato de 10 a 20 cm.

4. Todas las aplicaciones de enmiendas orgánicas, a excepción de la aplicación de ramas y hojas en el sistema de callejones con Gliricidia, estiércol de vaca y control, mostraron estar menos compactados cuando se midió la resistencia a la penetración en el estrato de 0 a 10 cm. No hubo diferencias significativas en el estrato de 10 a 20 cm.

5. Los efectos de aplicar enmiendas orgánicas al suelo y el tratamiento control sobre la densidad aparente y la estabilidad de agregados no fueron significativamente

diferentes para ambos estratos. Parece ser que la deposición de los residuos de cosechas ejerce una influencia favorable sobre el tratamiento control de manera que no permite detectar diferencias con las demás aplicaciones.

6. No se registró diferencias entre los tratamientos, con respecto a la conductividad hidráulica saturada. Sin embargo, en el estrato de 0 a 10 cm se observó una diferencia relativa importante de poco más del doble, lo que indica que la conductividad hidráulica saturada de los tratamientos con "Mulch" de Gmelina, Gliricidia y callejones de Erythrina es más rápida que la registrada por los tratamientos control y estiércol de vaca.

7. La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo presenta sus implicaciones de uso y manejo. Existe el problema de disponibilidad que presenta el estiércol por su empleo como combustible en algunos países. En los sistemas de cultivos en callejones se ha señalado que debido al requerimiento de podas, en fincas de baja intensidad de labores su adopción sería difícil y el costo de producción aumentaría

considerablemente si las labores adicionales tienen que ser contratadas. Se ha resaltado alguna reducción en la producción de cultivos asociados con hileras de árboles, siendo su posible causa la remoción de la poda para alimentación de ganado. Los efectos negativos de la aplicación de "Mulch" se han resaltado al incrementar las enfermedades por un excesivo nivel de humedad del suelo en periodos lluviosos, impedimento de emergencia de las plántulas cuando la capa de "Mulch" es muy gruesa y ciertos casos de alelopatía.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- A KEN'OVA, M. E.; ATTA-KRAH, A. N. 1986 Control of spear grass (*Imperata cylindrica* (L.) Beauv.) in an alley cropping fallow. Nitrogen fixing tree research reports. 4: 27-28.
- ADAMS, W. L. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true density of some uncultivated podzolic soil. Journal of soil science. 24: 10-17.
- ANDREW, W.; CONAMAY, Jr.; STRICKLING, E. 1962. A comparison of selected methods for expressing soil aggregate stability. Soil science society proceedings. 26: 426-430.
- ANDERSON, V. L.; McLEAN, R. A. 1974. Design of Experiments. a realistic approach. New York. p. 19.
- AYANABÁ, A.; OKIGBO, B. N. 1974. Cubierta de protección para mejorar la fertilidad del suelo y la producción agrícola. En Materias orgánicas fertilizantes. Boletín sobre suelos. 27, FAO, Roma. p. 32-44.
- BUDELMAN, A. 1989. The performance of selected leaf mulches in temperature reduction and moisture conservation in the upper soil stratum. Agroforestry Systems. 8: 53-66.

- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. 1986. Bulk density. In methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical properties. 2ed. Madison, ASA. p. 363-442.
- BAKER, F. G.; BOUMA, J. 1976. Variability of hydraulic conductivity in two subsurface horizons of two silt loam soils. Soil science society of america journal. 40: 219-222.
- CHANEY, K.; SWIFT, R. S. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. Journal of soil science. 35: 223-230.
- CHARREAU, C. 1974. Materia orgánica y propiedades bioquímicas del suelo en la zona tropical árida del Africa Occidental. En Materias orgánicas fertilizantes. Boletín sobre suelos. 27. FAO, Roma. p. 148-167.
- CURTIS, R. O.; POST, R. S. 1964. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils. Soil science society of america proceedings. 29: 285-286.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. I. 1986. Porosity. In Klute, ed. Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical properties. 2ed. Madison, ASA. p. 443-462.

- DUNCAN, A. 1974. Aspectos económicos del uso de materiales orgánicos como fertilizantes. En *Materias orgánicas fertilizantes*. Boletín sobre suelos. 27, FAO, Roma. p. 168-198.
- FGRSYTHE, W. 1985. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA. 212 p.
- FASSBENDER, H. W. 1980. Química de suelos. con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 398 p.
- GREACEN, E. L.; SANDS, R. 1980. Compaction of forest soils. A review. *Australian journal of soil research*. 18: 163-189.
- GREENLAND, D. J. 1977. Soil structure and erosion hazard. In: Greenland, D. J.; Lal, R. (eds). *Soil conservation and management in the humid tropics*. John Wiley and Sons. Chichester, p 17-23.
- HARRIS, W. W. 1963. Effect of residue management, rotations and nitrogen fertilizer on small grain production. *Agronomy Journal*. 55: 281-284.
- HAINES, S.; CLEVELAND, G. 1981. Seasonal variation in properties of five forest soils in southwest Georgia. *Soil Science Society of America Journal*. 45: 139-143.

- HILLEL, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic press, Inc. New York. 413 p.
- . 1982. Introduction to soil physics. Academic press, Inc. New York. 382 p.
- HOWARD, R. F.; SINGER, M. I.; FRANTZ, R. M. 1981. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected california forest and range soils. Soil science society of america journal. 45: 231-236.
- HOEKSTRA, D. A. 1987. Economics of agroforestry. Agroforestry Systems. 5: 293-300.
- JEFFREY, D. W. 1970. A note on the use of ignition loss as a means for the aproximate estimation of soil bulk density. Journal Ecology. 58: 297-299.
- JUD, A. S. R.; LAL, R. 1977. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an alfisol in western Nigeria. Plant and Soil. 47: 567-584.
- KANG, B. T.; GRIMME, H.; LAWSON, T. L. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with leucaena on a sandy soil in southern Nigeria. Plant and Soil. 85: 267-277.
- KANG, B. T.; WILSON, G. F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping maize (Zea mays L.) and leucaena (Leucaena leucocephala Lam.) in southern Nigeria. Plant and Soil. 63: 165-179.

- KASS, D. 1987. Alley cropping of annual food crops with woody legumes in Costa Rica. In *Advances in Agroforestry Research* (1985. Turrialba, C. R.). Proceedings. Ed. Beer, J.; Fassbender, H. W. y Heuvelop, J. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No.117. p. 197-208.
- KASS, D. L.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivos en callejones (Alley Cropping), en "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. *El Chasqui*. 19: 5-24.
- KEMPER, W. D. 1965. Aggregate stability. In Black (ed.) *Methods of soil analysis*. 1a ed. Part 1. Physical and mineralogical properties. Madison, ASA. p. 511-519.
- KLUTE, A.; DIRKSEN, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In *Methods of soils analysis*. Part I. Physical and mineralogical properties. 2ed. Madison, ASA. p. 687-733.
- KOOREVAAR, P.; MENELIK, G. DIRKSEN, C. 1983. *Elements of soil physics*. Holanda. 230 p.
- LAL, R. 1989a. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. *Agroforestry Systems*. 8: 1-6.

- LAL, R.; CUMMINGS, D. J. 1979. Clearing a tropical forest. I. Effects on soil and micro-climate. Field crops research. 2: 91-107.
- , 1989b. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. IV Effects on soil physical and mechanical properties. Agroforestry Systems. 8: 197-215.
- , 1989c. Potential of Agroforestry as sustainable alternative to shifting cultivation: Concluding remark. Agroforestry Systems. 8: 239-242.
- ; DE VLEESCHAUWER, D.; NGANJE, R. M. 1980. Changes in properties of a newly cleared tropical alfisol as affected by mulching. Soil science society of america journal. 44: 827-833.
- LEMON, E. R. 1956. The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. Soil science society of america proceedings. 20: 120-125.
- MBAGWU, J. S. C.; LAL, R.; SCOTT, T. W. 1984. Effects of desurfacing alfisols and ultisols in southern Nigeria. II. Changes in soil physical properties. Soil science society of america journal. 48: 834-838.
- NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; ERH, K. T. 1973. Spatial variability of field measured soil-water properties. Hilgardia. 42: 215-260.

- RUSSEL, J. C. 1939. The effect of surface cover on soil moisture losses by evaporation. Soil science society of america proceedings. 4: 65-70.
- RUSSELL, M. B.; FENG, C. L. 1947. Characterization of the stability of soil aggregates. Soil Science. 63: 299-304.
- ROBINSON, D. O.; PAGE, J. B. 1950. Soil aggregate stability. Soil science society of america proceedings. 15: 25-29.
- SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. 1983. Suelos ácidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en américa tropical. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo, Bogotá. 93 p.
- SANCHEZ, P. A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. In Steppeler, H. A.; Nair, P. K. R. (eds) Agroforestry; a decade of development. Nairobi, Kenia, ICRAF. p. 205-223.
- SANCHEZ OVIEDO, J. F. 1989. Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivos en callejones. Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Tesis M.Sc. 174 p.
- SAS. 1989. SAS user s guide: statistics, version 6.06. SAS Institute Inc., Cary, N. C.

SCHALLER, F. W.; STOCKINGER, K. R. 1953. A comparison of five methods for expressing aggregation data. Soil science society of america proceedings. 17: 310-313.

SINGH, A. 1974. Utilización de materias orgánicas y abonos verdes como fertilizantes en los países en desarrollo. En Materias orgánicas fertilizantes. Boletín sobre suelos. 27, FAO, Roma. p. 19-31.

SOMMERFELDT, T. G.; CHANG, C. 1987. Soil water properties as affected by twelve annual applications of cattle feedlot manure. Soil science society of america journal. 51: 7-9.

STEEL, R. G.; TORRIE, J. H. 1985. Bioestadística. Principios y procedimientos. Trad. R. Martínez. 2 ed. New York, McGraw-Hill. 622 p.

SEIBERT, B.; KLINCORC, I. 1988. Intercropping trials with Leucaena leucocephala on former Imperata cylindrica (L.) Beauv. grassland. Leucaena research reports 9: 59-60.

SSEKABEMBE, C. 1985. Perspectives in hedgerow intercropping. Agroforestry systems. 3: 339-356.

- VEGA, L. E.; VAN EIJK-BOS, C.; MORENO, L. A. 1987. Alley cropping with *Gliricidia sepium* (Jacq.) walp (mata ratón) and its effect on the soil losses on hill slopes in Urabá, Colombia. En *Gliricidia sepium* (Jacq.) walp. : Management and improvement. Proceeding of a workshop sponsored by the nitrogen fixation tree association and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Withington, D.; Glover, N.; Brewbaker, J. L., editores. Nitrogen fixation tree association special publication 87-01 p. 68-69.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In Hillel, D. (ed). Applications of soil Physics. Academy Press. New York. p. 319-344.
- YAMOAH, C. F.; AGBOOLA, A. A.; WILSON, G. F. 1986a. Nutrient contributions and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry Systems*. 4(3): 247-254.
- ; -----; -----; MULONGGOY, K. 1986b. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 18(2): 167-177.
- YOUKER, R. E.; McGUINNESS, J. L. 1957. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analysis of soils. *Soil Science*. 83: 291-294.

YOUNG, A. 1987. Soil productivity, soil conservation and land evaluation. *Agroforestry Systems*. 5: 277-291.