

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESPECIALIDAD EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**



**ÍNDICE DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE AGREGADOS EN
SUELOS ÁCIDOS, BAJO DOS SISTEMAS DE USO EN EL CULTIVO
DE CACAO (*Theobroma cacao L.*)**

TESIS

Para optar el Título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCION CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

HEIDI LAURA COTRINA LOBÓN

PROMOCIÓN II – 2007

Tingo María – Perú

2009

F01

M19

Cotrina Lobón, Heidi L.

“Índice de estabilidad estructural de agregados en Suelos Ácidos, bajo dos Sistemas de uso en el Cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*). Tarapoto, 2008

61h.; 14 cuadros.; 23 fgrs.; 41ref.; 30cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

THEOBROMA CACAO L. / ESTABILIDAD ESTRUCTURAL / CULTIVO / GRANULOMETRÍA / SUELO ÀCIDO / MATERIA ORGÀNICA / TINGO MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO / PERÙ.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo Maria – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del jurado de Tesis, reunidos con fecha 11 de diciembre de 2008, a horas 07:20 p.m. en la Sala de Conferencia de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

“ÍNDICE DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE AGREGADOS EN SUELOS ÁCIDOS, BAJO DOS SISTEMAS DE USO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*)”

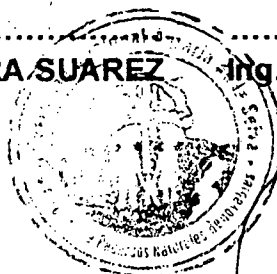
Presentado por la Bachiller: **HEIDI LAURA COTRINA LOBÒN**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**.

En consecuencia la sustentante queda apta para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

Tingo María, 04 de febrero de 2009


.....
Ing. M.Sc. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ**
Presidente


.....
Ing. **LUIS GARCÍA CARRIÓN**
Vocal



AUSENTE

.....
Ing. Mg. **ROBERTO OBREGÓN PEÑA**
Vocal


.....
Ing. M.Sc. **JOSÉ LEVANO CRISOSTOMO**
Asesor

DEDICATORIA

A mis amados padres Gladys Lobón Vila y Darío Cotrina Llamo, mis hermanos Leonardo y Carlos, por apoyarme siempre en el logro de mis metas y sueños.

A mi abuelo Mauro Lobón Bedoya, mi madrina Clara Valle, mis tías Clorinda Lobón Vila y Adela Cotrina LLamo, y demás familiares por el apoyo incondicional que me brindaron en el desarrollo de mi tesis.

AGRADECIMIENTO

- A Dios, ser omnipotente por iluminar y guiar mi camino a cada paso que emprendo.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Alma Mater, en especial a los profesores y amigos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes me apoyaron en mi formación profesional.
- Al Instituto de Cultivos Tropicales y a su representante Enrique Arévalo Gardini Ing. M. Sc, como presidente del directorio, coordinador general y a Luís Zúñiga Cernades Ing. M. Sc., Coordinador de proyectos, Julio Cesar Alegre Orihuela, Ph. Dr., como coasesores del presente trabajo de investigación, y a la Srta. Lucinda Vela Vargas por brindarme las facilidades y financiamiento para realizar mi tesis en su prestigiosa institución. A los Ing. Rafael René Robles Rodríguez, Fredy Pinchi Pinchi, Manuel Oscar Grandes Bardales, Zósimo Cujáy Campó, Carlos Alvarado Valles y a todo el personal de apoyo de la familia icetina quienes han contribuido de una u otra manera durante la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A mis amigos Willy Daniel Ríos Vargas, Raúl Trigoso Sangama, Demetrio Angelo Lama Isminio, Deysi Contreras Soria, Matilde Vela Vargas, Christian R. Bartra Reategui, José Miguel Bartra Perea, Angel García Arévalo, Roberto Leveau Tuanama, Paulo Cèsar Quiñe Macedo, Christian Garcia Villegas, Eddie Elias Contreras Porras, Victor Ludeña Dávila y Emilio Jesser Méndez Pasquel, quienes me brindaron su apoyo y afecto personal, puro y desinteresado fortificándome para el logro del presente trabajo.
- A todas las personas que en forma directa o indirecta hicieron posible el término del presente estudio, a todos ellos "MUCHAS GRACIAS".

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Los agregados del suelo.....	4
2.2 La estabilidad de agregados.....	5
2.3 División de los agregados.....	6
2.4 Significado agronómico de la estructura.....	8
2.5 Los Bosques secundarios.....	8
2.6 Sistema tradicional de derrumbe y quema.....	9
2.7 Origen, características e importancia del cultivo del cacao en el Perú.....	9
2.8 Materia orgánica del suelo (MOS).....	11
2.9 Densidad aparente de suelo.....	12
2.10 Resistencia a la penetración.....	14
2.11 Granulométrica del suelo.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
V. CONCLUSIONES.....	36
VI. RECOMENDACIONES.....	38
VII. ABSTRACT.....	39
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
IX. ANEXOS.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Niveles de contenido de materia orgánica del suelo (BAZÁN <i>et al.</i> , 2000).....	12
2. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo (USDA, 1999).....	13
3. Niveles de resistencia a la penetración del suelo (ICT, 2004).....	14
4. Sistemas de clasificación de partículas de acuerdo a sus tamaños, propuesto por el Departamento de Agricultura de Norteamérica (USDA, 1999) Cuadro	15
5. Fuentes de variación del análisis de varianza y grados de libertad.....	23
6. Distribución de las variables en estudio.....	24
7. Hojas de trabajo.....	47
8. Análisis de varianza del porcentaje de estabilidad de agregados estructurales.....	59
9. Análisis de varianza de la materia orgánica de los agregados estructurales.....	59
10. Análisis de varianza del contenido de carbono de la materia orgánica de los agregados estructurales.....	59
11. Análisis de varianza de la densidad aparente de 0-5cm. de profundidad.....	60

Cuadro	Página
12. Análisis de varianza de la densidad aparente de 5-10 cm. de profundidad.....	60
13. Análisis de varianza de la resistencia del suelo a la penetración de 0-5 cm. de profundidad.....	60
14. Análisis de varianza de la resistencia del suelo a la penetración de 5-10cm. de profundidad.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Minicalicata con cilindros.....	18
2. Minicalicata con el Pocket Penetrometer Assembly S-170.....	21
3. Estación Experimental “El Choclino”.....	23
4. Porcentaje de estabilidad de agregados estructurales y diferencias significativas (<i>Test Tukey, P<0.05</i>) de cada uso del suelo.....	25
5. Porcentaje de materia orgánica de los agregados estructurales, el contenido de carbono y diferencias significativas (<i>Test Tukey, P<0.05</i>) de cada uso del suelo.....	27
6. Regresión total de la fluctuación del porcentaje de estabilidad de agregados estructurales del suelo con el porcentaje de carbono.....	28
7. Porcentaje de peso de suelo retenido en los diferentes diámetros de los sistemas, de uso mostrando su coeficiente de determinación.....	30
8. Curva granulométrica de los sistemas de uso de suelo y su regresión de los sistemas de uso de suelo con sus respectivos porcentajes de pesos acumulados.....	31
9. Densidad aparente, diferencias significativas (<i>Test Tukey, P<0.05</i>) de cada uso del suelo.....	32
10. Resistencia del suelo a la penetración(<i>Test Tukey, P<0.05</i>) suelo.....	34

Figura	Página
11. Sistemas de uso en el cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>)....	52
12. Medición de la profundidad para el muestreo de suelos.....	53
13. Secado de muestras codificadas de suelo.....	53
14. Tamizado de agregados estructurales de suelos.....	54
15. Agitación y medición de la sedimentación de los agregados estructurales de suelo.....	54
16. Pesado de muestra de agregados estructurales de suelo.....	55
17. Titulación de las muestras de suelo.....	55
18. Molida de muestras de suelo.....	56
19. Tamización y pesado de muestras.....	56
20. Medición de la resistencia del suelo con el Pocket Penetrometer Assembly, S-170.....	57
21. Extracción de los cilindros metálicos.....	57
22. Extracción de la muestra de suelo.....	58
23. Secado de muestra de suelo en estufa a 105 °C por 3 días.....	58

RESUMEN

**ÍNDICE DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE AGREGADOS EN SUELOS
ÁCIDOS, BAJO DOS SISTEMAS DE USO EN EL CULTIVO DE CACAO
(*Theobroma cacao L.*)**

En la busca de una agricultura sustentable, los indicadores de funcionamiento del suelo y de evaluación de servicios ambientales tienen un papel esencial, tanto para la evaluación de las prácticas agrícolas tradicionales, como para el desenvolvimiento de indicadores confiables y de fácil uso. Con el objetivo de evaluar y analizar la estabilidad estructural de los agregados del suelo bajo sistema de manejo mejorado de bosque (BMS) y sistema de manejo tradicional (TMS) en el cultivo de cacao; ubicados en la Estación Experimental "Choclino" del Instituto de Cultivos Tropicales -ICT, en el distrito de La Banda de Shilcayo, provincia y región de San Martín, que pertenecen al orden de *Alfisolos* e *Inceptisolos*, con un régimen de temperatura del suelo *Isohipertérmico*, de texturas *franco arcillosas*, en las capas y con una reacción ácida (pH 4.5 – 5.8); se utilizó el método de Bouyoucus según los *Métodos Oficiales españoles* (MAPA, 1986) en 2 Ha. de terreno por uso de suelo, conjuntamente con el contenido de carbono orgánico, densidad aparente, granulometría y la resistencia a la penetración, bajo un diseño de bloques completamente al azar y utilizando el *Test Tukey*, $P < 0.05$.

Presentando el TMS mayor estabilidad estructural de agregados que el BMS, siendo influenciados por el contenido de carbono orgánico en el suelo y existiendo mayor exposición solar del suelo, baja densidad y naturaleza del material vegetativo.

Palabras clave: Agricultura sustentable, agregados estructurales de suelo.

I. INTRODUCCION

La calidad del suelo se puede definir brevemente como la "adecuación para un uso". Esto significa que la calidad de un suelo dependerá no solamente de su naturaleza dinámica sino además del uso y manejo que se le dé (LARSON y PIERCE, 1994; DORAN y SAFLEY, 1997).

La fertilidad del suelo es la base de la productividad y de la viabilidad de los ecosistemas terrestres. Esa fertilidad solo puede ser mantenida o mejorada si la salud del suelo ("Soil health") es garantizada (DORAN y ZEISS, 2000). Asimismo, entre los potenciales indicadores de sustentabilidad, la evaluación de la biodiversidad y de las funciones biológicas del suelo son posiciones claves.

Frecuentemente, la actividad de los microorganismos del suelo está asociada a la acción de organismos más complejos que formen energía y agua, como las raíces, el sistema digestivo de los invertebrados del suelo (WARDLE, 2002). Entre esos organismos, los más activos construyen las "estructuras biogénicas", los cuales forman agregados altamente estables que garantizan la buena porosidad y resistencia a la degradación ya sea erosión hídrica, eólica o mecánica (LAVELLE y SPAIN, 2001).

Los ecosistemas amazónicos están sufriendo degradación severa desde el final de la década del 60, principalmente por la deforestación y quema, siendo una técnica muy eficiente en la preparación de la tierra. Consecuentemente, pastos extensivos y agricultura de corte-quema son los usos dominantes del suelo en la región (NEPSTAD, 2001). Su actual ritmo acelera la pérdida de biodiversidad, contribuyendo para el efecto estufa, a

través del bióxido de carbono liberado y por ausencia de ellas (BELTRAÕ y BELTRAÕ, 1992).

En busca de una agricultura sustentable, los indicadores del funcionamiento del suelo y de la evaluación de servicios ambientales tienen un papel esencial, tanto para la evaluación de las prácticas agrícolas tradicionales, como para el desenvolvimiento de indicadores confiables y de fácil uso para hacer posible una aplicación racional y eficiente del concepto de servicios ambientales.

La estabilidad de agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas (HILLEL, 1982). Siendo evaluados como principal indicador físico de la salud del suelo, por ser más sensible a las modificaciones del mismo en corto plazo, repercutiendo el resultado de la actividad biológica en interacción con las características físicas y químicas del suelo (KAY, 1998). Por consiguiente es necesario comprender los principios y fundamentos físicos del suelo que afectan el crecimiento de las plantas; tales como la proporción y agregación de las partículas individuales, la resistencia a la penetración de las raíces, el poder de soportabilidad y rigidez.

Los resultados obtenidos al final del periodo de evaluación nos permitirán determinar y difundir un análisis comparativo en la estabilidad estructural de agregados bajo dos sistemas de uso en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), y la relación que tiene con el contenido de materia orgánica, densidad aparente, granulometría y resistencia a la penetración.

Objetivos

General

- Conocer el índice de estabilidad estructural de los agregados en suelos ácidos, bajo los sistemas de manejo mejorado y tradicional en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*).

Específicos

- Determinar la estabilidad estructural de los agregados del suelo y el contenido de materia orgánica.
- Determinar la granulometría, densidad aparente y la resistencia del suelo a la penetración.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Los agregados del suelo

Son partículas secundarias formadas a través de la combinación de partículas mineral con sustratos orgánicos e inorgánicos (BAVER, 1972). El complejo dinámico de agregación es el resultado de la interacción de muchos factores incluyendo el medio ambiente, factores de gestión del suelo, influencia de las plantas y propiedades de la composición mineral, textura, concentración de carbono orgánico del suelo, proceso pedogenético, actividad microbial, intercambio de iones, reserva de nutrientes y humedad variable (KAY, 1998).

También son considerados como componentes de la estructura del suelo, por tanto, de la suma importancia en la manutención de la porosidad y aireación del suelo, crecimiento de las plantas (desarrollo radicular) y de la población microbiana, la infiltración, almacenaje del agua y en el control de los procesos erosivos (OADES, 1980; DEXTER, 1992).

La agregación resulta del reordenamiento de las partículas, floculación y cementación, para la formación de los agregados (MBAGWU, 1991); es necesario que los coloides del suelo se encuentren floculados y que todos los componentes del agregado se han posteriormente estabilizados por un agente cementante (HILLEL, 1980) como son la materia orgánica, los óxidos y los hidróxidos tanto de las partículas primarias y secundarias del suelo. Se puede incluir, también, los ciclos de humedecimiento y secamiento como importante factor que interfiere en la agregación del suelo (CARVALHO, 1991). En otros términos, la formación de agregados incluye tanto la floculación como la cementación, con partículas primarias unidas entre si, que no se dispersen en agua (ARIAS y DE BASTISTA, 1984).

Los agregados mejoran la calidad del suelo BETANCOURT *et al.*, 1999; CASTILLO *et al.*, 2004):

- Protegiendo la materia orgánica, entrampada en los agregados, de la exposición al aire y a la descomposición microbial.
- Haciendo decrecer la erodabilidad del suelo.
- Mejorando el movimiento del agua y del aire (los agregados incrementan la cantidad de espacio de poros grandes); el ambiente físico para el desarrollo radicular y el hábitat de los organismos del suelo.

2.2. La estabilidad de agregados

Es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas (HILLEL, 1982), indicando la cantidad que resiste a la perturbación por agua que fluye. En general, cuanto mayor sea el porcentaje de agregados estables tanto menor será la erodabilidad del suelo y son mejores para la calidad del suelo (TATE, 1995).

La estabilidad de los agregados está afectada por la cantidad y tipo de los siguientes constituyentes del suelo (KEMPER, 1966):

2.2.1. Contenido de materia orgánica del suelo

La estabilidad de los agregados en general se incrementa con el contenido de materia orgánica. El efecto es más pronunciado en suelos que contienen poca cantidad de arcilla. En general, incrementos en materia orgánica por encima del 2 %, no aumentan apreciablemente la estabilidad de agregados.

2.2.2. Contenido de arcilla

La estabilidad de los agregados se ve afectada por la cantidad y tipo de arcilla del suelo y generalmente se incrementa con el contenido de arcilla. Este efecto decrece a altos contenidos de arcilla. En general, arcillas de

elevada superficie específica (por ej. montmorillonita), tienden a originar mayor agregación que arcillas de baja superficie específica (por ej. caolinita).

2.2.3. Contenido de óxidos de aluminio y hierro

Generalmente la estabilidad de agregados se incrementa con el contenido de óxido de hierro libre. En general, los óxidos de aluminio libres no incrementan apreciablemente la estabilidad de agregados.

2.2.4. Contenido de carbonato de calcio

El contenido de carbonato de calcio por lo general no afecta apreciablemente la estabilidad de agregados.

2.2.5. Contenido de sodio intercambiable.

La estabilidad de los agregados decrece con crecientes cantidades de sodio de intercambio. En general, agregados estables al agua son no-existentes en suelos con más de 20 % de Na⁺ intercambiable.

2.3. División de los agregados

Los agregados del suelo se dividen en dos grandes grupos, de acuerdo con el tamaño (diámetro):

2.3.1. Micro agregados: (menos de 250 μm) consiste de partículas primarias de suelo unidas a micro agregados menores. Los agentes de ligazón incluyen:

- Materia orgánica humificada (polímeros orgánicos).
- Metales o cationes polivalentes.
- Raíces e hifas de hongos.
- Polisacáridos.
- Restos de plantas y microbios (encontrados).

- Óxidos amorfos de hierro y aluminio.

2.3.2. Macro agregados: (>250 μm) consisten de microagregados unidos entre sí. Los agentes de ligazón incluyen:

- Hifas de hongos
- Raíces fibrosas
- Polisacáridos.
- Óxidos de aluminio y hierro (suelos que contienen más del 10 % de óxidos de hierro y aluminio).

Los macro agregados se forman rápidamente bajo las siguientes condiciones:

- Bajo pastura, o gramíneas de forraje (masa radicular fibrosa, densa).
- En sitios donde se han agregado residuos orgánicos.
- En sitios donde está presente una gran cantidad de micro agregados (< 250 μm de diámetro).

La diferencia entre micro y macro agregados incluyen los siguientes aspectos:

- Los macro agregados son más sensibles a cambios de manejo que los micro agregados y, en consecuencia, son considerados un mejor indicador para calidad del suelo. La estabilidad de los macro agregados depende del manejo, debido a la naturaleza transitoria de sus agentes de ligación.
- Los macro agregados se forman más rápidamente que los micro agregados.
- El carbono es más estable en micro agregados que en macro agregados.

- Los macro agregados son más estables al agua que los micro agregados.
- Cuando aumenta la proporción de macro sobre micro agregados aumenta la calidad del suelo.

2.4. Significado agronómico de la estructura

La estructura afecta directamente muchas de las propiedades del suelo, entre ellas, la retención y la conducción del agua, que depende del espacio poroso, del tamaño y la distribución de los poros (TANNER y MAMARIL, 1959). Influye en las operaciones de labranza, en el crecimiento vegetal, a través de sus efectos sobre el ambiente del suelo en que opera el sistema radical, afectando de esta forma la estructura a la capacidad de aire y la temperatura del suelo (BARRACLOUGH, 1991).

2.5. Los bosques secundarios

Los bosques secundarios, llamados también vegetación secundaria, son componentes del paisaje rural de grande significado en la realidad agraria de la Amazonía, distinguiéndose de otras formas de área alteradas por acción antrópica por que constituye estados de regeneración espontánea de la cobertura forestal.

En áreas densamente pobladas, la vegetación secundaria poseen un papel clave en la manutención de la productividad de la tierra y de los suelos (DENICH, 2001). También otras funciones como el potencial para la regeneración del bosque, funciones como disipador de carbono y conservación de la biodiversidad.

Además, ofrecen una variedad de productos económicos útiles como la leña, materiales de construcción, madera, miel y frutas, etc., mas no son investigadas frecuentemente (CORLETT, 1995).

2.6. Sistema tradicional de derrumbe y quema

El sistema tradicional de derrumbe y quema, también es una alternativa más económica del agricultor familiar preparar el área, para el plantío de las culturas en la Amazonía. La adopción de esta práctica de cultivo asociado a la reducción del tiempo de posesión tiene llevado a una progresiva disminución del potencial de la biomasa de la vegetación y en la aptitud de la producción agrícola por unidad de área. La agricultura familiar tiene contribuido, en término de Amazonía, con 35 % a 40 % de la tierra deforestada y la pecuaria extensiva con 50 % (SERÃO *et al.*, 1998), entretanto para el agricultor familiar con bajo grado de capitalización y poco acceso a otra alternativas, el preparo de área para plantío con quema, también se constituye más eficaz a su alcance, por ser un proceso menos costoso, por promover la fertilización gratuita del suelo y obtener producciones, para su subsistencia.

2.7. Origen, características e Importancia del cultivo del cacao en el Perú

El cacao (*Theobroma cacao L*), es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del Sur. Sus almendras constituyen el insumo básico para la industria del chocolate, cosmética, farmacéutica y otros derivados.

La domesticación, cultivo y consumo del cacao fue hecho por los indígenas Toltecas, Aztecas y Mayas más de un milenio antes del descubrimiento de América.

Hacia 1810, Venezuela se convierte en el país más importante del mundo en la producción de cacao, Alrededor de 1820, los portugueses introducen los primeros cultivos de cacao en África, donde rápidamente se extiende En Brasil se comienza igualmente a extender el cultivo, llegando a ser uno de los mayores productores a escala mundial. La importancia del cultivo del cacao radica en su estructura productiva que genera fuentes de trabajo e ingresos todo el año si es manejado adecuadamente (ICT, 2004).

El cacao se vuelve un cultivo de renta importante y preemisor en el Perú a partir de los años 1930. Su cultivo se desarrolla en la Amazonía con el asentamiento de la selva alta de campesinos provenientes de la sierra.

El árbol de cacao o cacaotero (*Theobroma cacao*), es una planta tropical de unos tres metros, que deben estar a la sombra, por lo cual normalmente se encuentran bajo árboles más grandes. El fruto (la mazorca de cacao) puede alcanzar una longitud de 15-25 centímetros. Cada mazorca contiene entre 30 y 40 semillas, que una vez secas y fermentadas es el cacao en grano. Las semillas son de color marrón-rojizo en el exterior y están cubiertas de una pulpa blanca y dulce.

2.7.1. Taxonomía

El género *Theobroma* se encuentra en estado natural en los pisos inferiores de las selvas húmedas de América Tropical, entre los 180 de latitud norte y los 150 de latitud sur, a una altitud generalmente inferior a 1250 m.s.n.m. (LEÓN, J. 1987); *Theobroma cacao*, ha sido clasificado taxonómicamente de la siguiente manera:

División	:	Fanerógama (Spermatophyta)
Clase	:	Angiospermae
Subclase	:	Dicotiledóneas
Orden	:	Malvales
Familia	:	Sterculiaceae
Género	:	<i>Theobroma</i>
Sección	:	Eutheobroma
Especie	:	<i>cacao</i>
Nombre científico:		<i>Theobroma cacao</i> L.

2.7.2. Condiciones ambientales y requerimientos agroclimáticos.

2.7.2.1. Suelo.

Al cacao se lo cultiva hasta los 1200 m.s.n.m y los suelos recomendados para la siembra deben ser en lo posible planos o ligeramente inclinados, porque en términos generales estos tipos de suelos son fértiles y la erosión es mínima, las vegas de los ríos por lo general son buenas para el cacao. Los suelos mas apropiados para el cultivo de cacao son los aluviales, profundos y fértiles (ICT, 2004).

En general los suelos requeridos deben ser de buena fertilidad. Suelos y profundos, materia orgánica abundante pH entre 6 y 7 y bien drenados (COMAGA, 2005).

2.7.2.2. Clima.

El cacao necesita para su desarrollo, una considerable cantidad de agua que oscila entre los 1800 – 2500 mm de lluvia bien distribuidas durante el año.

2.7.2.3. Temperatura.

El cacao necesita una temperatura moderada entre los 24 y 26 °C, con una humedad relativa de 70 a 80 %.

2.8. Materia orgánica del suelo (MOS)

La materia orgánica del suelo (MOS) es ampliamente reconocida como reservorio de nutrientes para las plantas y el mayor factor de estabilización de la estructura edáfica (ORELLANA y PILATTI 1994). Es el componente clave del suelo que afecta sus propiedades químicas, físicas y biológicas, siendo un pre requisito para la obtención de cultivos con niveles de producción elevados y estables (KEMPER, 1966). Es la materia orgánica la cual, parcialmente descompuesta, es incorporada al suelo por los seres vivos, combinándose con las más finas partículas de arcilla, después de haber sido

transformada a humus por los organismos del suelo para contribuir el complejo coloide - biológico (BAZÁN, 2000). Las enmiendas orgánicas varían dependiendo del tipo y grado de descomposición del material utilizado (TISDALL y OADES, 1980). En general, la materia orgánica puede influir tanto sobre la velocidad de humectación como sobre la resistencia a la tensión generada durante el humedecimiento (KAY, 1998). La estabilidad de agregados es fuertemente dependiente de la velocidad de humectación, por esto la estabilidad de agregados disminuye cuando la velocidad de humectación aumenta (MUÑOS, 1990; RAMÍREZ, 1998). El contenido o concentración de carbono orgánico del suelo se asume que el C representa un 58 % de total de MO. Por ello, el factor utilizado para transformarlo en MOS es 1.724 (ARAVENA, 2007; MONNIER, 1965).

Cuadro 1. Niveles de contenido de materia orgánica del suelo (BAZÁN *et al.*, 2000).

Nivel	M.O (%)
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

2.9. Densidad aparente de suelo

La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado en horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas. Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y de su tipo de empaquetamiento.

El suelo es una mezcla de partículas minerales, material orgánico, aire y agua (parte sólida y espacio poroso); a diferencia de la textura y estructura que se refieren a la parte sólida, la densidad aparente es propiedad física que se relaciona con la porosidad, compactación, aireación y distribución

de los poros, y es afectada por la estructura del suelo, el contenido de materia orgánica y la labranza (BAZÁN *et al.*, 2000).

La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Esta condición puede ser alterada por el cultivo; pisoteo de animales; maquinaria agrícola; y clima, por ejemplo por impacto de las gotas de lluvia (ARSHAD *et al.*, 1996).

Cuadro 2. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo (USDA, 1999).

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm ³)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arena, areno-franco	< 1.60	1.69	>1.80
Franco-arenosa, franco	< 1.40	1.63	>1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1.40	1.60	> 1.75
Limosa, franco-limosa	< 1.30	1.60	> 1.75
Franco-limosa, francoarcillo-limosa	< 1.40	1.55	> 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45 % de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.47

2.10. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser empujado dentro del suelo, ha sido correlacionada con penetración de raíces (BRADFORD, 1986). Ofrece información acerca de capas resistentes para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo (VOGEL, 1992).

La resistencia del suelo se relaciona con la aptitud del suelo a resistir la pérdida de estructura. Ofrece información acerca de capas impenetrables para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo (OADES, 1980). También puede ser empleada para determinar duripanes, zonas de compactación, u horizontes densos (MATERECHERA *et al.*, 1992).

La resistencia a la penetración depende marcadamente del contenido de agua del suelo: cuanto más seco está el suelo mayor es su resistencia a la penetración (RUSSEL, 1979).

El Pocket Penetrometer Assembly S-170 (ICT, 2004), utiliza el kg/cm² como unidad de medida para la resistencia a la penetración, que con un rango 0 - 4.5 kg/cm², presentando los siguientes niveles de interpretación:

Cuadro 3. Niveles de resistencia del suelo a la penetración (ICT, 2004)

(Kg/cm ²)	Nivel de resistencia
<1	Suelos muy suaves
1 – 2	Suelos suaves
2 - 3	Suelos duros
3 – 4	Suelos muy duros
> 4	Suelos extremadamente duros

2.11. Granulometría del suelo

La granulometría, es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una *escala granulométrica*.

La curva granulométrica de un suelo es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un laboratorio cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman. Para este análisis se utilizan dos procedimientos en forma combinada, las partículas mayores se separan por medio de tamices con aberturas de malla estandarizadas, y luego se pesan las cantidades que han sido retenidas en cada tamiz. Las partículas menores se separan por el método hidrométrico (DUQUE y ESCOBAR, 1998).

Se representa gráficamente en un papel denominado "log-normal" por tener en la horizontal una escala logarítmica, y en la vertical una escala natural, siendo clasificado el tamaño de partículas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Sistemas de clasificación de partículas de acuerdo a sus tamaños, propuesto por el Departamento de Agricultura de Norteamérica (USDA, 1999)

Fracción Suelo Diámetros	(mm)
Arena muy gruesa	2,00-1,00
Arena gruesa	1,00-0,50
Arena media	0,50-0,25
Arena fina	0,25-0,107
Arena muy fina	0,10 -0,05
Limo	0,05-0,002
Arcilla	< 0,002

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

Región : San Martín.

Provincia : San Martín.

Distrito : Banda de Shilcayo

Sector : Choclino.

3.1. 2. Ubicación geográfica

3.1.2.1. Coordenadas geográficas la Estación Experimental “El Choclino” del Instituto de Cultivos Tropicales

Latitud : 06° 28' 37.3" S

Longitud: 76° 19' 54.6" W

Altitud : 500 - 530 m.s.n.m.

3.2. Características generales de la zona

3.2.1. Clima

Las condiciones climáticas son cálido lluvioso presentando las siguientes características:

- Temperatura, varía entre 28 °C y 32 °C.
- Precipitación anual es de 1,500 mm.

3.2.2. Suelo

Entre las primeras actividades que se realizó fue el sondeo de la acidez del suelo, resultando una reacción ácida (pH 4.5 – 5.8); los suelos estudiados pertenecen al orden de Alfisol e Inceptisol (ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL ICT, 2006); presenta un régimen de temperatura del suelo Isohipertérmico, de texturas franco arcillosas, en las capas superficiales, a arcillosos en las capas más profundas.

3.2.3. Vegetación

La Estación Experimental cuenta con el 75 % de bosque secundario de 25 años y el 25 % con helecho salvaje (Shapumba), como especie dominante, indicador de suelos degradados y ácidos.

Se encuentra en la zona de vida Bosque Seco tropical (Bst), con régimen climático cambiante.

3.2.4. Fisiografía

La estación experimental del Instituto de Cultivos Tropicales, tiene un área de 8.4 ha y un perímetro de 1,432 m, siendo el relieve del área con pendiente ligera 3 % (2 ha); pendiente moderada 8 % (3.5 ha); y pendiente marcada 25 % (2.90 Ha).

3.3. Metodología de análisis de laboratorio

3.3.1. Densidad aparente (método del Cilindro)

- Se construye una minicalicata de 15 cm y 10 cm de lado, marcando las profundidades de 0 - 5 cm y 5 - 10 cm para los puntos de muestreo.
- Con el martillo y bloque de madera introducir los cilindros metálicos (5 cm de diámetro y 3 cm de altura) completamente en el suelo en el centro de cada profundidad (Figura 1).

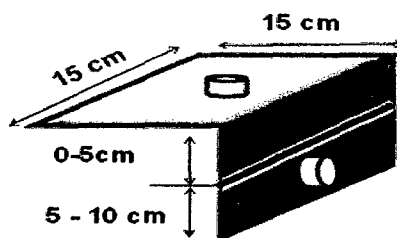


Figura 1. Minicalicata con cilindros

- Se extrae y enraza con una navaja el cilindro introducido con la muestra de suelo.
- Pesar el sobre manilla y registrar.
- Colocar en el sobre Manila el suelo que está en el cilindro, pesar y registrar.
- Colocar la muestra de suelo en estufa a 105 °C por 72 horas.
- Pesar la muestra de suelo y el sobre manilla seco y registrar.

Cálculo.

$$\text{Densidad aparente del suelo (cm}^3/\text{g)} = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del suelo}}$$

3.3.2. Materia orgánica (método de Walkley y Black)

Pesar 0.25 gr. de suelo y depositarlo en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, agregar 10 ml. de Dicromato de Potasio 2N y añadir 10 ml. de ácido sulfúrico Q.P 96 %. Mezclar para homogenizar la solución y dejar reposar por 2 horas a más, llevar a volumen de 100 ml., tomar 20 ml.

De esta solución en un vaso de precipitación para titularlo; agregar 2 a 3 gotas de indicador de Difenilamina Sulfúrica. Titular con Sal de Morh 0.2N. el cambio de color verde oscuro a verde brillante indicará el final de la titulación; anotar el gasto de la solución de Morh, paralelo a esto realizar un blanco (sin muestra).

Cálculo

$D = 10\text{ml de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - b$ (gasto) ml de Sal de Fierro

ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ usados en la oxidación

$$\% C = D \times 0.004 \times 100$$

$$\% \text{MO} = \% C \times 1.724$$

3.3.3. Estabilidad Estructural (método de Bouyoucus (MAPA, 1986))

Se extraen muestras sin disturbar con pala a profundidades de 0-5 cm. Las muestras son secadas al aire bajo sombra, luego se desmenuzan a mano y son tamizadas (2 mm); en una probeta de 50 ml se coloca 25 gr. de muestra y se llena hasta el enrase de 40 ml con agua destilada, y se deja reposar por media hora.

Se toma otra probeta de 50 ml y se coloca 15 gr. de muestra y se llena hasta el enrase de 40 ml de una solución de Cloruro de Potasio 1 N, y se deja reposar durante media hora.

Luego se agitan ambas probetas, mediante una varilla, de forma vertical y circular, suavemente, por tres veces con intervalos de media hora y se dejan reposar ambas probetas por espacio de 24 horas, y finalizados este tiempo se lee el volumen de sedimentación de la tierra de cada una. La diferencia entre ambos volúmenes representa el índice de inestabilidad estructural, que es tanto mayor cuanto mayor es esa diferencia, considerándose la estructura estable si no hay diferencia de sedimentación entre ambas probetas.

3.3.4. Resistencia del suelo

- Ubicar los puntos de muestreo y elaborar una minicalicata de 15 cm de lado, de 10 cm de profundidad y marcar las profundidades de 0 - 5 cm y de 5 - 10 cm.
- Medir la resistencia del suelo con el penetrómetro (Pocket Penetrometer Assembly, S - 170) de forma horizontal en dos puntos ubicados a la misma altura y registrar (Figura 2).

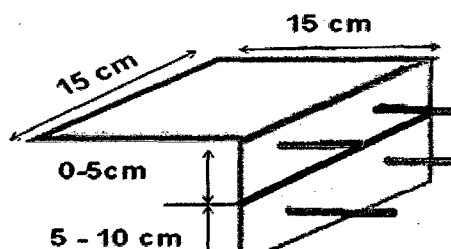


Figura 2. Minicalicata con el Pocket Penetrometer Assembly S - 170

3.3.5. Granulometría de suelos (método del tamizado).

- Seleccionar la muestra más representativa posible y luego dejar secar al aire libre para ser fraccionada con el molino de golpe.
- Pesar 100 gr. de suelo y separar mediante una serie de tamices con diámetros de 2, 1, 0,5, 0,25, 0,106 y 0,053 mm., para obtener varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente.
- Sacudir horizontalmente y/o golpes verticales, mecánicos o manuales, se hace pasar el suelo por la serie de tamices, de arriba hacia abajo, para luego pesar por separado el suelo retenido en cada malla.
- El contenido de las partículas que pasan por cada tamiz, se pone en relación con la masa inicial.

Cálculo:

$$\% \text{ Retenido parcial} = \frac{\text{Peso retenido en tamiz}}{\text{Peso muestra total}} \times 100$$

- Los porcentajes obtenidos se utilizaron tanto en forma numérica como gráfica ajustada.

3.4. Reconocimiento de terreno

3.4.1. Sistemas de evaluación:

3.4.1.1. Sistema de Manejo Mejorado (BMS)

Bosque intervenido con raleo y siembra de aproximadamente 25 años, en la cual se hizo un raleo selectivo, de árboles espontáneos de porte bajo, dejando especies forestales entre maderables, no maderables y medicinales que sirven de sombra permanente para el cultivo de cacao. El cacao

se instaló e injertó bajo esta sombra el cual tiene una edad de 2,5 años aproximadamente de instalado en el sistema con un distanciamiento de 3 m x 2 m haciendo un total de 1667 plantas/ha.

3.4.1.2. Sistema de Manejo Tradicional (TMS)

Bosque de siembra tradicional con rozado, tumbado y quemado, en el cual en los primeros años se sembraron maíz, frijol, plátano. Establecida la sombra temporal de plátano se instaló las plantas de cacao a la misma densidad del sistema BMS.

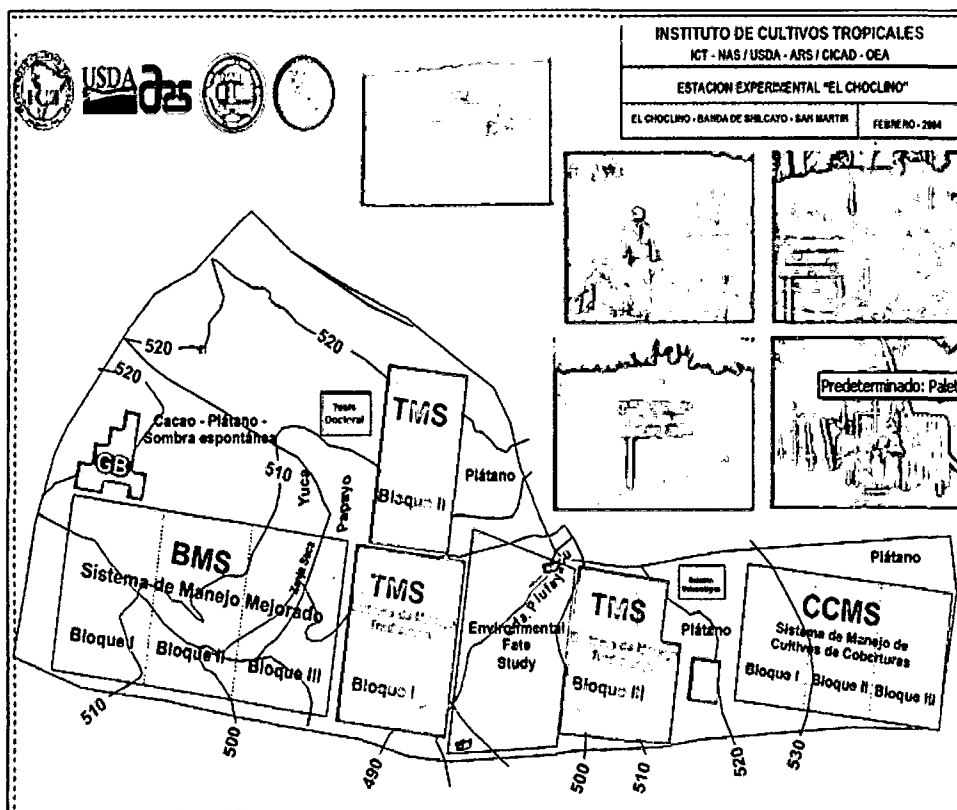


Figura 3. Estación Experimental "El Chocloro"

3.4.2. Estratos de evaluación

La recolección de muestras de suelo en cada sistema, se realizó en campo, en 3 puntos en la Unidad Experimental de observación. Esta Unidad

de muestreo es una minicalicata con 2 estratos de observación: 0-5 cm y de 5-10 cm de profundidad.

3.4.3. Recolección, transporte y secado de muestras de suelo

Se recolectó el suelo sin perturbar a profundidades de 0-5 cm y 5-10 cm, empleando pala recta en cada punto determinado, siendo transportado para su posterior secado bajo sombra.

3.4.4. Análisis de muestras de suelo en laboratorio

Para la obtención de los datos de laboratorio se realizó los siguientes análisis con sus respectivos procedimientos detallados anteriormente:

Análisis físico: Estabilidad Estructural

Densidad aparente

Granulometría

Resistencia del suelo a la penetración.

Análisis químico: Materia orgánica

3.5. Análisis estadístico

De acuerdo a la metodología propuesta, se tienen dos sistemas de estudio (BMS y TMS) o tratamientos, determinándose la densidad aparente, materia orgánica, estabilidad estructural de agregados, granulometría y resistencia de suelo existente dentro de cada sistema en dos profundidades distintas (0-5 cm. y 5-10 cm.); para ello se empleó un diseño con dos entradas o clasificatorios (sistema y profundidad). Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con tres bloques por cada sistema con su respectivo análisis de varianza (Cuadro 5).

El modelo aditivo lineal será:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + E_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : La observación en el i-ésimo bloque, en el j-ésimo sistema y en el k-ésimo estrato

B_i : Es el p-ésimo bloque (tres bloques)

S_j : En el j-ésimo sistema (dos sistemas)

E_k : En el k-ésimo estrato (dos profundidades)

ε_{ijk} : Error experimental de la observación en el i-ésimo bloque, en el j-ésimo sistema y en el k-ésimo estrato.

Cuadro 5. Fuentes de variación del análisis de varianza y grados de libertad

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD*	GRADOS DE LIBERTAD**
Sistema	1	1
Bloque	2	2
Genotipo	10	10
Error	118	52
TOTAL	131	65

(*) G.L. de la estabilidad de agregados estructurales, densidad aparente y materia orgánica.

(**) G. L. de la resistencia de suelo.

Los datos obtenidos de cada unidad muestral se sometieron a la prueba de significación estadística de Tuckey ($\alpha = 0.05$); asimismo se aplicó una estadística descriptiva, para mostrar las medidas de resumen con gráficos y tablas, utilizando el software Info Stat / Profesional Versión 1.1.

3.4.6. Factores de estudio

3.4.6.1. Sistemas

a₁ Sistema de manejo mejorado (BMS).

a₂ Sistema tradicional (TMS)

3.4.6.2. Características físicas de suelo

- b₁ Estabilidad estructural de agregados.
- b₂ Granulometría.
- b₃ Densidad aparente.
- b₄ Resistencia del suelo a la penetración

3.4.6.3. Características químicas de suelo

- c₁ Materia orgánica

3.4.6.4. Profundidades de estudio

- d₁ De 0 a 5 centímetros
- d₂ De 5 a 10 centímetros.

3.4.7. Diseño experimental

El diseño a emplear será distribuido con sus respectivas variables (Cuadro 6).

Cuadro 6. Distribución de las variables en estudio

	Resistencia del suelo	Granulometría de suelos Estabilidad de agregados	Densidad aparente	Materia Orgánica
Nº de sistemas	2	2	2	2
Nº bloques	3	3	3	3
Nº de sub áreas muestrales por bloque	11	11	11	11
Nº de puntos por sub área	2	3	2	1
Nº muestras por punto	Prof. 0-5 cm : 2 Prof. 5-10 cm:	Prof. 0-5 cm: 1	Prof. 0-5 cm : 1 Prof. 5-10 cm: 1	Prof 0-5 cm: 1
	TOTAL : 4	TOTAL :1	TOTAL : 2	TOTAL:1
Nºtotal de muestras sistema	132	99	66	33
Nº TOTAL	264	198	132	66

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estabilidad Estructural

El índice de estabilidad estructural de agregados del suelo en porcentaje, presenta un 7.68 % de C.V. (Cuadro 8 del Anexo); de acuerdo a la prueba de Tuckey expresa diferencias significativas para el efecto del uso de los suelos, obteniendo valores promedios de 70.39 % para el BMS y de 72.83 % para el TMS (Figura 4).

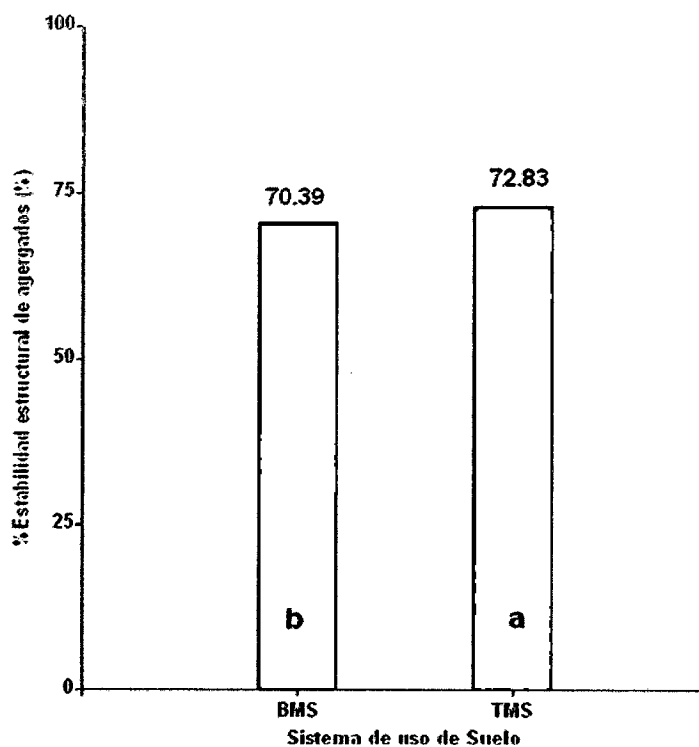


Figura 4. Porcentaje de estabilidad de agregados estructurales y diferencias significativas (*Test Tukey, P<0.05*) de cada uso del suelo, indicadas por letras distintas.

El mayor porcentaje de agregados se debe principalmente al revestimiento de los agregados por la materia orgánica, evitando el efecto degradante del agua por estallido; en presencia de mayor contenido de materia orgánica, la actividad microbiana es mayor, ya que conducen a la unión de partículas del suelo y consecuentemente a un incremento de la agregación (USDA, 1999).

El TMS, presenta el mayor valor de estabilidad estructural, posiblemente se deba a las altas temperaturas que aumentan la resistencia de los agregados del suelo, reflejándose mayormente, dichos efectos al presentar mayor exposición solar del suelo, baja densidad y naturaleza del material vegetativo.

Para el crecimiento de las plantas es deseable disponer de una condición física en la cual el suelo sea un conjunto óptimamente friable, suelto y poroso de agregados, que permitan libre movimiento de agua y aire, fácil cultivo, y una germinación y crecimiento de raíces no obstruidos (HILLEL, 1982). El índice de la estructura del suelo es una estimación de calidad que indica el grado de cercanía con las condiciones descritas arriba. Por lo general, cuanto más alto es el valor del índice, mejor es la capacidad del suelo de transmitir agua y aire, y de promover el crecimiento y desarrollo de las raíces. En general, cuanto mayor sea el porcentaje de agregados estables tanto menor será la erodabilidad del suelo.

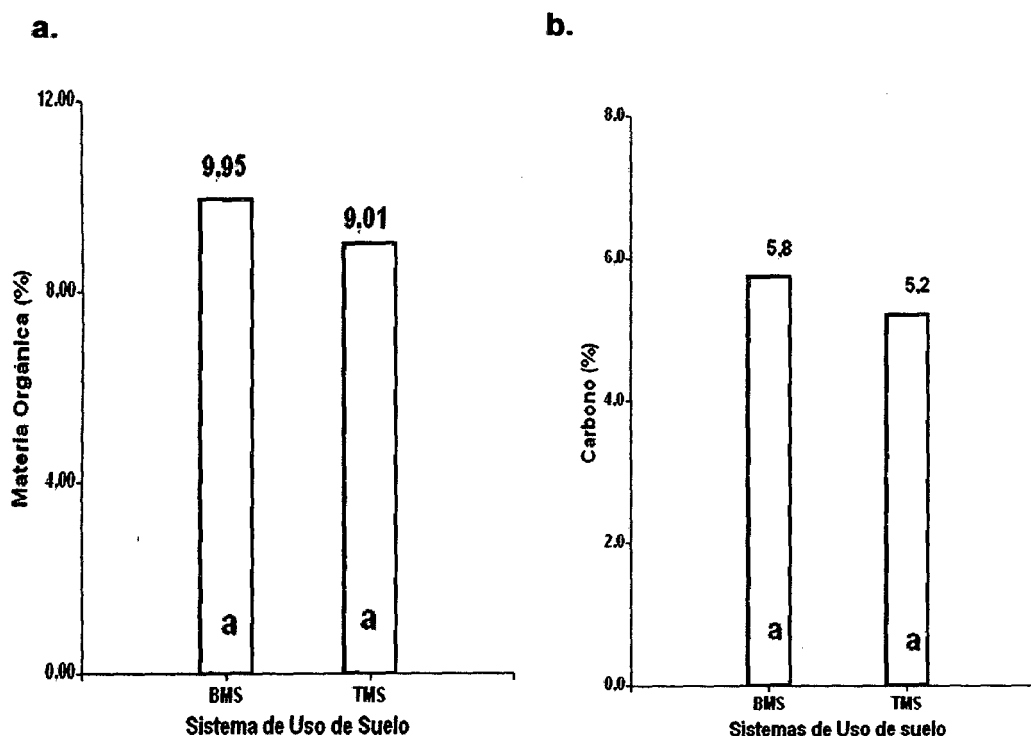


Figura 5. Porcentaje de materia orgánica de los agregados estructurales, el contenido de carbono y diferencias significativas (*Test Tukey*, $P < 0.05$) de cada uso del suelo, indicadas por letras distintas.

El contenido de materia orgánica y carbono de los agregados estructural del suelo, no presenta diferencias significativas en relación al uso de suelo (Figuras 5a y 5b); hallándose en el análisis de varianza un 35,53 % de C.V. (Cuadro 9 y Cuadro 10 del Anexo); manteniendo dichos resultados un nivel alto (Cuadro 1).

El carbono orgánico del suelo asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo y la estabilidad de agregados y/o la formación de estos es influenciada por el contenido de carbono en el suelo, así como lo indican (MUÑOS, 1990; TISDALL y OADES, 1980; ARAVENA, 2007; MONNIER, 1965; ORELLANA y PILATTI 1994 y RAMÍREZ, 1998).

Estab. de agregados Vs. Carbono

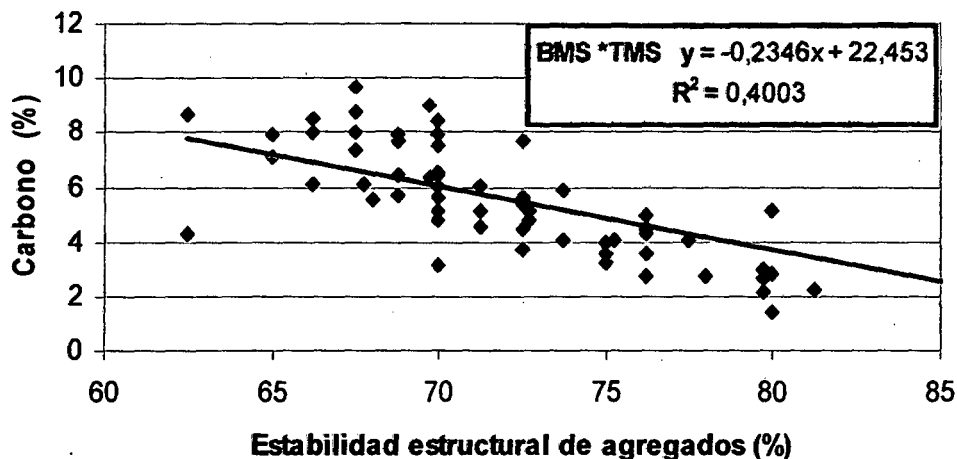


Figura 6. Regresión total de la fluctuación del porcentaje de estabilidad de agregados estructurales del suelo con el porcentaje de carbono.

La regresión, correlación negativa y el coeficiente de determinación entre el porcentaje de estabilidad de agregados estructurales y su porcentaje de carbono muestra la dispersión de los promedios sigue una regresión lineal (Figura 6). El coeficiente de correlación nos muestra que el 40.03 % de la variación de la estabilidad de agregados está en función al porcentaje de carbono de los agregados, debido a que los datos son valores iniciales para los dos tratamientos (BMS y TMS), realizando una sola evaluación.

A comparación de ARIAS y DE BASTISTA (1984), en suelos Vertisoles, los cuales mostraron una correlación positiva y altamente significativa con el contenido de la materia orgánica y BETANCOURT *et al.* (1999), concluyeron que la materia orgánica presentó correlaciones positivas para la estabilidad de los agregados, mostrando un mejoramiento en las condiciones físicas de suelos degradados, principalmente en su estabilidad estructural, del mismo modo que CASTILLO *et al.* (2004), pudiendo seguir el

mismo comportamiento ambos tratamientos, al utilizar los datos iniciales del presente trabajo con evaluaciones futuras.

La estabilidad de los agregados es importante en relación al movimiento y almacenaje de agua del suelo, a la erosión, desarrollo radicular y actividad de la comunidad microbial (TATE, 1995). La destrucción de agregados es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial, los cuales impiden la infiltración del agua e incrementan la erosión. La agregación del suelo puede variar a lo largo de determinados períodos de tiempo, tales como una estación o un año. Los agregados pueden formarse, desintegrarse y re - agregarse periódicamente (HILLEL, 1982)

El BMS, presenta diferencia estadística comparada con el TMS, posiblemente por mantener una cobertura vegetal densa y condiciones fitoclimáticas que promueve una deposición continua de residuos vegetales, sumada a la intensa actividad biológica, protegiendo contra los impactos de la lluvia y el desecamiento rápido del suelo; de este modo sirve como cementante de partículas minerales y composición de la estructura de agregados (MBAGWU, 1991).

Además, la agregación de las capas superiores de un suelo forestal está íntimamente ligada a la actividad microbiana (BASTES, 1984). Solamente el material orgánico, sin transformación biológica, no tiene efecto sobre la estructura del suelo; los microorganismos participan de la agregación, aproximando las partículas y produciendo polisacáridos y otras sustancias orgánicas que actúan como goma y cementante; el primer mecanismo de aproximación constituiría los agregados y el segundo daría a ellos la estabilidad al asociarse con los iones metálicos por adsorción en las superficies de las arcillas (BAVER, 1972).

4.2. Granulometría de suelos

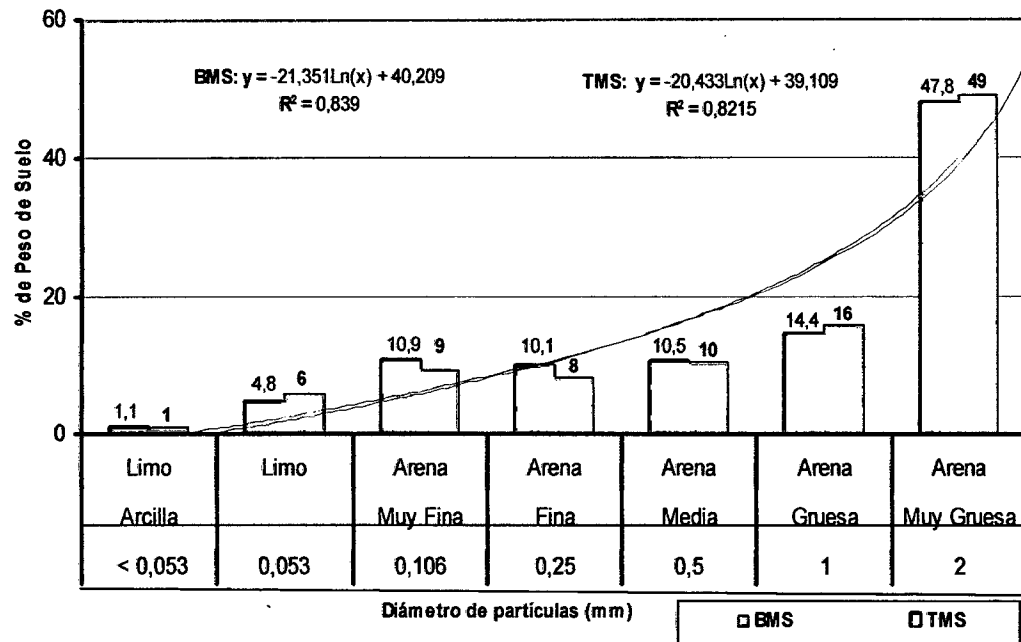


Figura 7. Porcentaje de peso de suelo retenido en los diferentes diámetros, de los sistemas de uso, mostrando el coeficiente de determinación.

Los sistemas de clasificación de partículas de acuerdo a sus tamaños, más conocido y utilizado es el propuesto por el Departamento de Agricultura de Norteamérica (USDA), observamos que ambos usos de suelos mantienen una curva granulométrica continua (Figura 7), organizada por partículas de todos los tamaños, de tal manera que los vacíos dejados por las de mayor tamaño, sean ocupados por otras de menor tamaño y así sucesivamente.

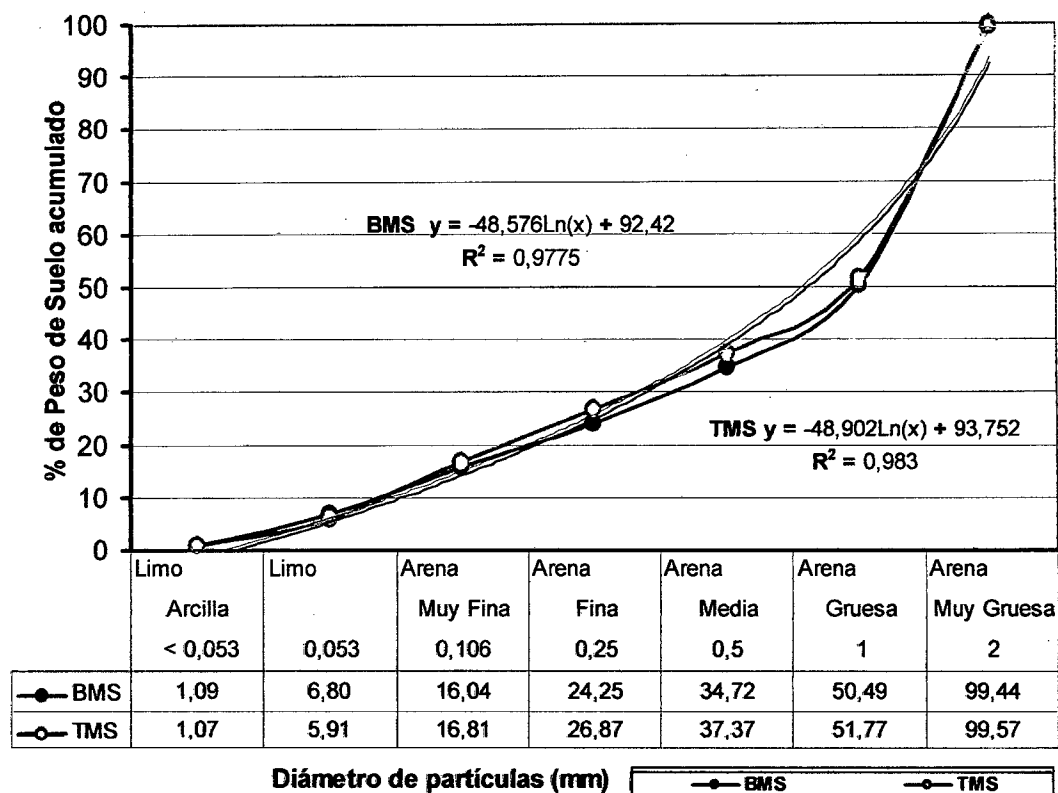


Figura 8. Curva granulométrica de los sistemas de uso de suelo y su regresión de los sistemas de uso de suelo con sus respectivos porcentajes de pesos acumulados.

La curva granulométrica (Figura 8), que analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman (DUQUE G. y ESCOBAR C., 1998), el BMS se ajusta a la curva logarítmica $y = -48,576\text{Ln}(x) + 92,42$, con un $R^2 = 0,9775$; y el TMS a una curva logarítmica $y = -48,902\text{Ln}(x) + 93,752$, con el coeficiente de determinación de 0,983.

4.3. Densidad aparente

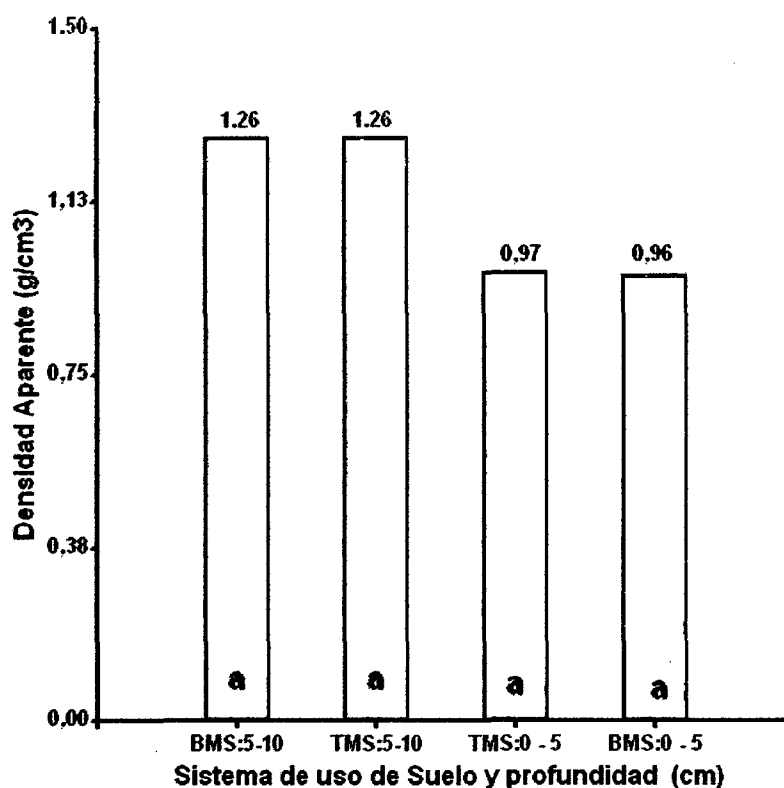


Figura 9. Densidad aparente, diferencias significativas (*Test Tukey*, $P < 0.05$) de cada uso del suelo, indicadas por letras distintas.

De acuerdo a la prueba de Tuckey (Figura 9), el análisis de varianza presenta un 18.18 % y 9.36 % de C.V. (Cuadro 11 y Cuadro 12 del Anexo), no muestran diferencias, no mostró diferencias significativas para el efecto del uso de los suelos aumentando la densidad aparente con la profundidad del perfil de los suelos, obteniéndose valores promedios de 1,11 g/cm³ para el BMS y de 1,12 g/cm³ para el TMS y promedios de 0,97 g/cm³ hasta los 5 centímetros y de 1,26 g/cm³ de 5 a 10 centímetros de profundidad.

Se muestra que la densidad aparente del suelo puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces. En general, cuanto mayor la densidad, menor el espacio poroso para el

movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, y el desarrollo de las plántulas (USDA, 1999), permitiendo inferir las dificultades para la emergencia, el enraizamiento y la circulación del agua y el aire.

Típicas densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1,0 y 1,7 g/cm³ y generalmente aumentan con la profundidad en el perfil (ARSHAD *et al.*, 1996). Las densidades de las partículas orgánicas usualmente presentan usualmente densidades menos que 1,0 g/cm³ hallándose en la primera capa de 5 centímetros de profundidad del perfil del suelo en de estudio.

De esta manera se ha determinado, que al relacionar la densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo (USDA, 1999), se encuentran incluidos dichos valores en la textura franco arcillosa (Cuadro 2).

4.4. Resistencia del suelo a la penetración

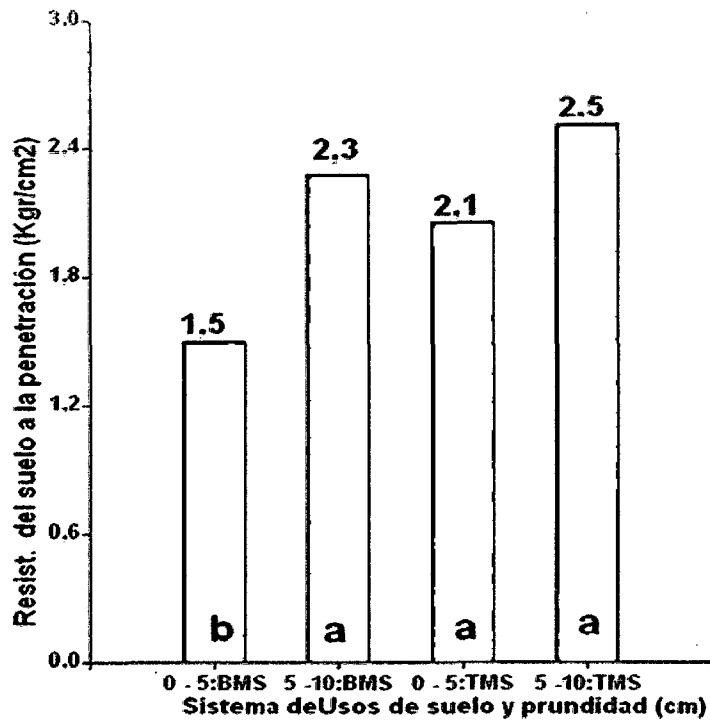


Figura 10. Resistencia del suelo a la penetración, diferencias significativas (*Test Tukey, P<0.05*) de cada uso del suelo, indicadas por letras distintas.

De acuerdo a la prueba de Tuckey (Figura 10), el análisis de varianza con un 27.30 % y 21.51 % de C.V. (Cuadro 13 y Cuadro 14 del Anexo), mostraron diferencias significativas para el efecto del uso de los suelos, aumentando resistencia del suelo a la penetración con la profundidad del perfil de los suelos, obteniéndose valores promedios de 1,88 Kg/cm² para el BMS y de 2,30 Kg/cm² para el TMS y promedios de 1,78 Kg/cm² hasta los 5 centímetros y de 2,40 Kg/cm² de 5 a 10 centímetros de profundidad.

El BMS mantiene hasta los primeros 5 centímetros de profundidad un suelo de consistencia suave (Cuadro 3), y de 5 a 10 centímetros una

consistencia dura, a comparación del TMS, que mantiene hasta los primeros 10 centímetros de profundidad con una consistencia de suelo duro.

El criterio para establecer los límites de profundidad para cada clase radica en la relación entre compactación y enraizamiento. A medida que la compactación es más superficial en el perfil, el crecimiento de las raíces queda confinado principalmente en los primeros centímetros del perfil (BARRACLOUGH, 1991).

A pesar de la resistencia a la penetración será afectada por la textura, densidad del suelo y contenido de agua (CORLETT, 1995), sugiere que valores encima de 2,5 MPa, comienzan a restringir el pleno crecimiento de las raíces de las plantas. Otros investigadores, consideran críticos los valores que varían de 6,0 a 7,0 MPa para suelos arenosos y en torno de 2,5 para suelos arcillosos (OADES, 1980), 3 MPa de resistencia a la penetración constituye un impedimento mecánico para el crecimiento de las raíces (MATERECHERA *et al.*, 1992 y VOGEL, 1992). Encontrándose en el presente trabajo, valores menores a los descritos de la resistencia a la penetración en los primeros 10 centímetros de profundidad y destacando el uso de suelo BMS, al mantener menor valor en los primeros 5 centímetros que favorecen en la circulación del agua y del aire, e incrementando la profundidad efectiva de los suelos y la aptitud de las tierras al disminuir el efecto directo de la compactación, que ocasiona la deestructuración y desagregación del suelo, que por su vez, son resultantes de la modificación de los factores de estabilización de los agregados, a saber: sistemas radicales, actividad biológica, oxidación de la materia orgánica y la pérdida de cationes básicos (RUSSEL, 1979), y que reduce el volumen de los poros de mayor diámetro del suelo, ocasionando pérdidas del contenido de agua del suelo para la atmósfera, que impiden el desenvolvimiento de las raíces (TANNER y MAMARIL, 1959).

V. CONCLUSIONES

1. El efecto del uso del suelo BMS y TMS, mantiene un Índice de estabilidad estructural, representado en porcentajes, de 70.39 % y 72.83 %, respectivamente, manteniendo estadísticamente una diferencia significativa entre ambos tratamientos, siendo influenciados por el contenido de materia orgánica y carbono orgánico de los agregados; de esta manera el TMS presenta mayor valor que el BMS, debido a la mayor exposición solar del suelo, baja densidad y naturaleza del material vegetativo.
2. Ambos usos de suelo, mantienen una curva granulométrica continua, ajustándose el BMS a la curva logarítmica, $y=-48,576\text{Ln}(x) + 92,42$; y el TMS a $y=-48,902\text{Ln}(x) + 93,752$.
3. La densidad aparente no mostró diferencias significativas para el efecto del uso de los suelos, aumentando con la profundidad del perfil del suelo, siendo hasta los primeros 5 centímetros para el BMS un valor de $0,96 \text{ gr/cm}^3$, y para el TMS con $0,97 \text{ gr/cm}^3$; y $1,26 \text{ gr/cm}^3$ de 5 a 10 centímetros, para ambos usos de suelo.
4. La resistencia del suelo a la penetración, incrementó sus valores en relación a la profundidad, y presenta una diferencia significativa entre ambos usos de suelo, obteniéndose valores de $1,49 \text{ Kg/cm}^2$ y $2,27 \text{ Kg/cm}^2$ para el BMS siendo de consistencia suave y dura; y de $2,27 \text{ Kg/cm}^2$ y $2,51 \text{ Kg/cm}^2$ para el TMS hasta los 5 centímetros y de 5 a 10 centímetros de profundidad de consistencia dura, respectivamente.

5. Mediante el presente estudio se logró manifestar la gran fragilidad de suelos ante la quema de la cobertura vegetal original, siendo el BMS una alternativa de uso de suelo para proteger y recuperar la estabilidad estructural de agregados de suelo, encaminándose a evitar la degradación de la fertilidad física del suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Continuar evaluando los niveles de carbono y estabilidad estructural de los agregados del suelo.
2. Ajustar otras metodologías de estabilidad de agregados con otros factores que representen un mayor grado de disturbación para determinar con mayor precisión la formación y destrucción de la estabilidad de los agregados.
3. No utilizar la quema de bosques como alternativa para eliminar la biomasa de los bosques ya que alteran la estabilidad de agregados el suelo.

VII. ABSTRACT

INDEX OF STRUCTURAL STABILITY OF AGGREGATES IN ACID SOILS IN TWO SYSTEMS FOR USE IN THE CULTIVATION OF COCOA

(Theobroma cacao L.)

In search of sustainable agriculture, indicators of performance evaluation of soil and environmental services have an essential role both for the evaluation of traditional farming practices, such as indicators for the development reliable and easy to use. The experiment was conducted at the Experimental Station "Choclino" of the Institute of Tropical Crop-ICT; ubicated in the district of La Banda Shilcayo, province and region of San Martín, with Alfisols and Inceptisols soil with a soil temperature regime Isohipertérmico of French clay texture in the layers and with an acid reaction (pH 4.5 - 5.8).

In order to assess and analyze the structural stability of soil aggregates in two systems, the first system as best management forest (BMS) and second system, the traditional management (TMS) in the cultivation of cocoa; was used as the method of Bouyoucus as Method Spanish official (MAPA, 1986) in 2 hectares of land for land use, together with the organic carbon content, bulk density, grain size and penetration resistance, low design of a randomized complete block using the Tukey Test , $P < 0.05$.

The results indicate that TMS provides more structural stability of aggregates that BMS system, being influenced by the organic carbon content in the soil, more sun exposure of the soil, low density, and nature of the plant material.

Key words: Sustainable Agriculture, structural soil aggregates.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAVENA, C., VALENTIN, C., DIEZ, M., LUZ MORA M, Y GALLARDO F. 2007. Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. Chile. 7(1):57-61.
- ARIAS, N., BASTISTA, J.1984. Evaluación de los métodos para la determinación de estabilidad estructural en Verti soles de Entre Ríos. Ciencia del suelo. 98(1):87-92.
- ARSHAD, M., LOWERY, B., GROSSMAN, B.1996. Physical tests for monitoring soil quality. p. 123-142.
- BAAR R., DOS REIS, M., DENICH, M., FÖLSTER H.2004. Floristic inventory of secondary vegetation in agricultural systems of East-Amazonia. biodiversity and Conservation. p. 501-528.
- BASTES, J. 1984. Studies of a Nigerian forest soil: I. The distribution of organic matter in the profile and in various soils fractions. The Journal of Soil Science, Ottawa. p. 246-256.
- BARRACLOUGH, P., WEIR, A., KUHLMANN, H.1991. Factors affecting the growth and distribution of winter wheat roots under UK field conditions. Ed. McMichael B.I. y H. Persson. Plant roots and their environment. Proceedings of an ISSR symposium, Uppsala, Sweden. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands. p. 410-417.

- BAVER, L., FARWOETH, R. 1972. Soil structure effects in the growth of sugar beets. Soil Science Society of America Proceedings, Madison. p. 45-48.
- BAZÁN, R., ROMERO C., VALENCIA M, NAZARIO J., GARCÍA S., 2000. Guía de Prácticas de Edafología. Departamento de Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. 49 p.
- BETANCOURT, P., GONZÁLEZ, J., FIGUEROA, B., GONZÁLEZ, F. 1999. Materia orgánica y caracterización de suelos en proceso de recuperación con coberturas vegetativas en zonas templadas de México. México. p. 467-474.
- BELTRÃO, J., BELTRÃO, J. 1992. Educação Ambiental na Pan – Amazônia. UNAMAZ. UFPA, Belém-Pará. Brasil. 243 p.
- CARVALHO, A. 1991. Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste. Viçosa, Brasil. Universidad Federal de Viçosa. 93p.
- CORLETT, R. 1995 Tropical secondary forest. Progress in Physical Geography. Ottawa. p.159-172.
- DORAN, J., SAFLEY, M. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In Biological indicators of soil health. Eds. C. Pankhurst, B. Doube and V. Gupta R. CAB International. p.11-28.
- DORAN, J., ZEISS, E. 2000. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. Appl. Soil Ecol. p. 3-11.
- DENICH, M. 2001. Small Farming in the Humidic Tropics. A case study from the Brazilian Amazon. Lecture presented for the International

- Doctoral Program at the Center for Development Research.
University of Bonn. Germany. 85p.
- DUQUE, G., ESCOBAR, C. 1998. Mecánica de Suelos. Universidad Nacional de Colombia. 162 p.
- DURHAM GEO SLOPE INDICATOR. 2002. Instruction Manual S-170 of Portable Pocket Penetrometer. 2 p.
- HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA. 470 p.
- HILLEL, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press. New York. 413 p.
- CASTILLO, A., GAUNA, D., DALURZO, H., FERNÁNDEZ, S. 2004. Subproductos del tabaco y de tung como enmiendas orgánicas en las propiedades físicas de un Ultisol. Argentina. 73 p.
- ICT, 2004. Manejo y transferencia de tecnología del cacao en el Perú. 1ra Edición. Chiclayo, Perú. 387 p.
- KAY, B. 1998. Soil structure and organic carbon: Soil processes and the carbon cycle a review. Ed. Lal, R., Kimble, J., Follett, R. and Stewart, B.. CRC Press, Estados Unidos p. 169-197.
- KEMPER, W., ROSENAU, R. 1986. Aggregates stability and size distribution. *In* Methods of soil analysis, 1^{era} parte: Physical and Mineralogical Methods. Agronomy série N° 9. 2^e edição. Sobre a direção de A. Klute. American Society of Agronomy et Soil Science Society of America, Madison, Wi. p. 425-441.
- LARSON, W., PIERCE, F. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Soil Science Society of America . p. 37-51.

- LAVELLE, P., E SPAIN, A. 2001. Soil ecology. Kluwer Academy Publishers, Norwell MA. 654 p.
- MBAGWU, J. 1991. Mulching on Ultisol in southern Nigeria: Effect on physical properties and maize and cowpea yields. Journal Science Food Agric. p. 517-520.
- MAPA, 1986. Métodos oficiales de análisis (Suelos). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. España. 531 p.
- MATERECHERA, S., ALSTON, E., KIRBY M., DEXTER, A. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. Plant Soil. p. 297-303.
- MONNIER, G. 1965. Action des matieres organiques sur la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. p. 327-400.
- MUÑOS, V., TOVAR, S., ORTIZ, S., CASTELLANOS, Z. 1990. El uso del estiércol como mejorador de algunas propiedades de los suelos arcillosos de la comarca lagunera. Agrociencia. p. 127-144.
- NEPSTAD, D., CARVALHO, G., BARROS, A., ALENCAR, A., CAPOBIANCO, J., BISHOP, J., MOUTINHO, P., LEFEBVRE, P., SILVA, J., PRINS, E. 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. Forest Ecology and Management, p.395-407.
- OADES, J., TISDALL, M. 1980. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. Plant Soil. p. 319-337.
- ORELLANA, J., PILATTI, M.1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. Ciencia del suelo 12(2):75-80

- RAMÍREZ, R. 1998. Evaluación de la aplicación del abono tipo bocashi en las propiedades físicas de un suelo degradado del municipio de Marinilla, Antioquia. 24(2):55-58.
- RUSSEL, R. 1979. Plant root systems: their function and interactions with the soil. McGraw-Hill, N. York. 298 p.
- SERÃO, E., NEPSTAD, D., WALKER, R. 1998. Desenvolvimento agropecuário e frestas de terra firme na Amazônia: sustentabilidade, criticabilidade e resiliencia. In_ Homma, A.K. O. Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola. Brasília: Embrapa-SPI; Belém: Embrapa-CPATU. p. 367-386.
- TANNER, C., MAMARIL, C. 1959. Pasture compaction by animal traffic. Agron. New York, 51(6):329 -331.
- TATE, R. 1995. Soil microbiology. John wiley and Sons, New York. 27(5)56-58.
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Trad. LUTERS A., SALAZAR J.CNIA - Argentina. 88 p.
- VOGEL, H. 1992. Morphological and hydrological characteristics of gleyic granitic soils and their potential for crop production. A case study from Zimbabwe. Soil Technology. p. 303-317.
- WARDLE, D. 2002. Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components. Monographs in population biology: 34. Princeton University Press, Princetor 392 p.

IX. ANEXO

Cuadro 7
HOJA DE TRABAJO 1

Estabilidad de agregados estructurales

Sistema:

Evaluador:

Fecha :

NºGenotipo	GENOTIPO	SISTEMA	Bloque	Pto Az.	Cód. Usuario	H. Agua	H. CIK
1	ICT-1112						
	ICT-1112						
	ICT-1112						
2	U-30						
	U-30						
	U-30						
3	H-35						
	H-35						
	H-35						
4	TESTIGO						
	TESTIGO						
	TESTIGO						
5	CCN-51						
	CCN-51						
	CCN-51						
6	ICT-2142						
	ICT-2142						
	ICT-2142						
7	ICT-2162						
	ICT-2162						
	ICT-2162						
8	ICT-2171						
	ICT-2171						
	ICT-2171						
9	ICT-1026						
	ICT-1026						
	ICT-1026						
10	UF-613						
	UF-613						
	UF-613						
11	ICS-95						
	ICS-95						
	ICS-95						

HOJA DE TRABAJO 2

Estabilidad de Materia Orgánica

Sistema:

Evaluador:

Fecha :

NºGenotipo	GENOTIPO	SISTEMA	Bloque	Pto	Cod. Usuario	MO(%)
1	ICT-1112					
2	U-30					
3	H-35					
4	TESTIGO					
5	CCN-51					
6	ICT-2142					
7	ICT-2162					
8	ICT-2171					
9	ICT-1026					
10	UF-613					
11	ICS - 95					

HOJA DE TRABAJO 4

Densidad Aparente

Sistema:

Evaluador:

Fecha :

Nº de Genotipo	Sistema	Bloque	Genotipo	Prof. (cm)	Peso suelo Fresco (gr.)	Peso Suelo Seco(gr.)	Densidad Aparente (g/cm³)
1			TCI-1112				
2			TCI-1026				
3			TCI-2142				
4			TCI-2162				
5			TCI-2171				
6			ICS- 95				
7			UF- 613				
8			CCN- 51				
9			U-30				
10			H-35				
11			Testigo				

HOJA DE TRABAJO 5

Resistencia del suelo a la penetración

Sistema:

Evaluador:

Fecha :

N° de Genotipo	Genotipo	BLOQUE			
		Resistencia horizontal (Kg/cm ²) Profundidad (cm)			
		0 a 5		5 a 10	
		2,5	2,5	7,5	7,5
1	TCI-1112				
2	TCI-1026				
3	TCI-2142				
4	TCI-2162				
5	TCI-2171				
6	ICS- 95				
7	UF- 613				
8	CCN- 51				
9	U-30				
10	H-35				
11	Testigo				

ANEXO 2



a. Sistemas de manejo mejorado (BMS)



b. Sistema de manejo tradicional de cacao (TMS)

Figura 11. Sistemas de uso en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE AGREGADOS DE SUELO

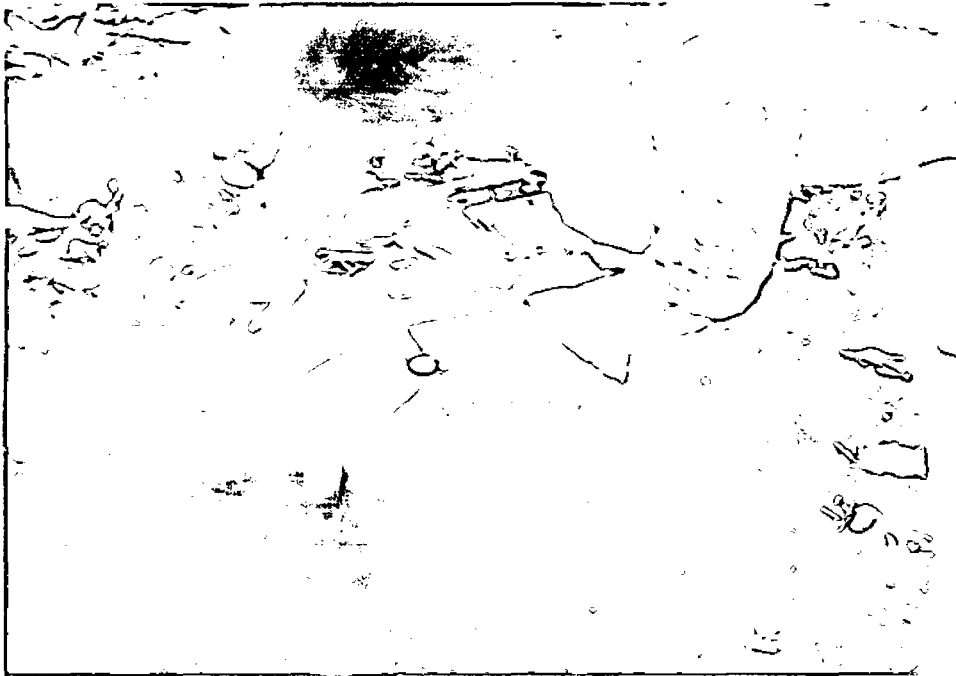


Figura 12. Medición de la profundidad para el muestreo de suelos

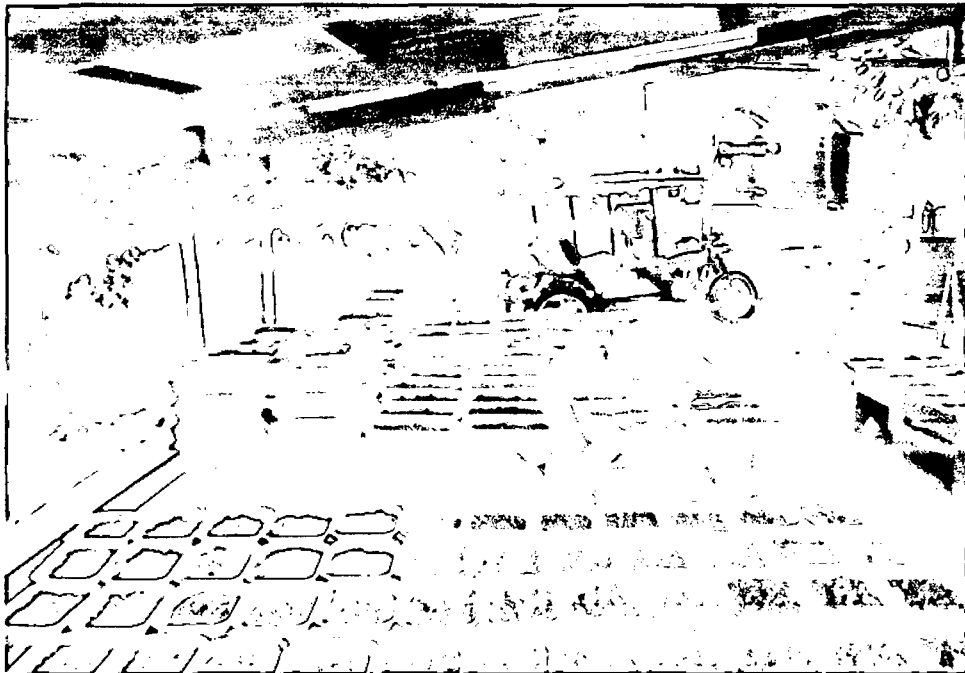


Figura 13. Secado de muestras codificadas de suelo.

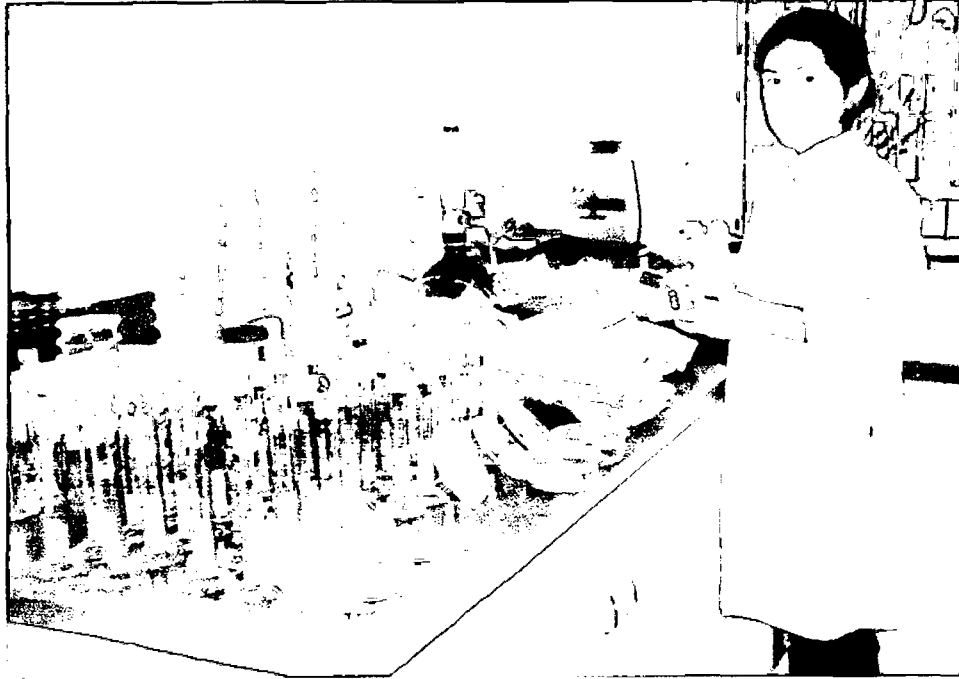


Figura 14. Tamizado de agregados estructurales de suelos.

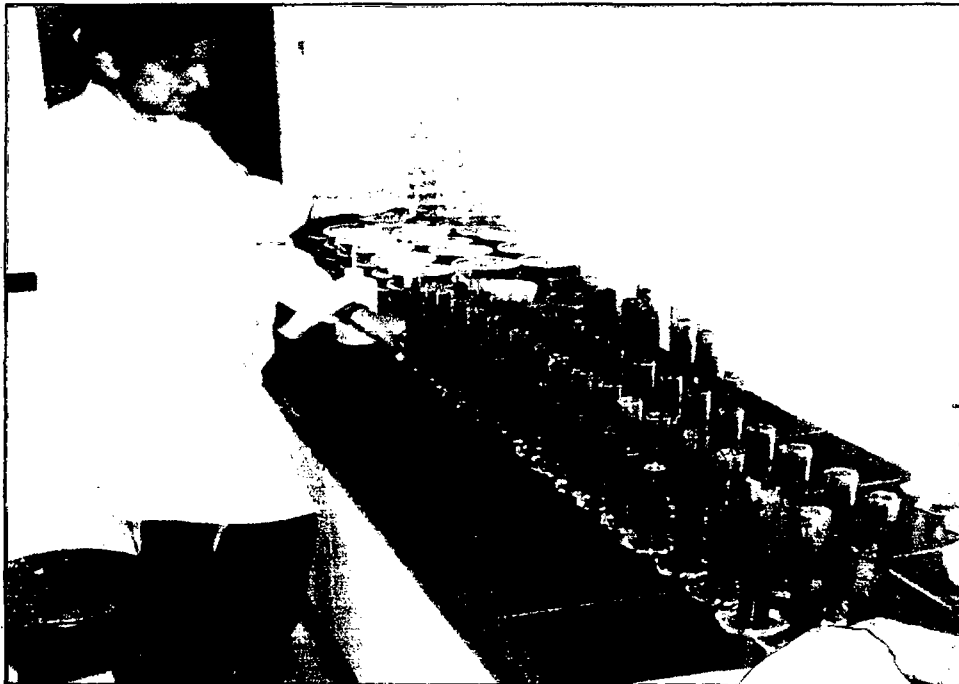


Figura 15. Agitación y medición de la sedimentación de los agregados estructurales de suelo.

ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA

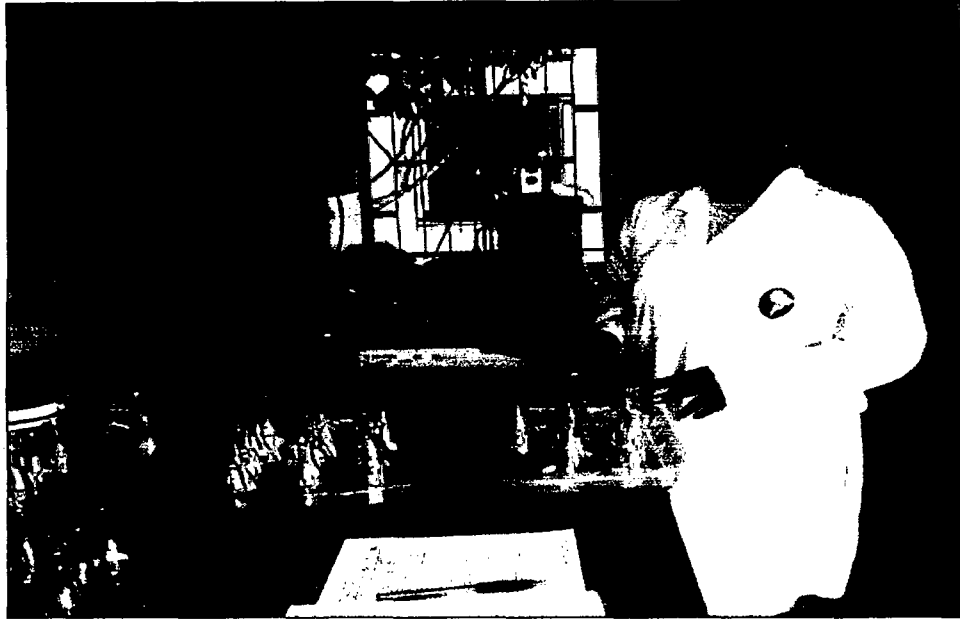


Figura 16. Pesado de muestra de agregados estructurales de suelo.



Figura 17. Titulación de las muestras de suelo.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA DE SUELOS



Figura 18. Molida de muestras de suelo



Figura 19. Tamización y pesado de muestras

ANÁLISIS DE LA DENSIDAD APARENTE Y RESISTENCIA DEL SUELO A LA PENETRACIÓN



Figura 20. Medición de la resistencia del suelo con el Pocket Penetrometer Assembly, S-170.



Figura 21. Extracción de los cilindros metálicos.



Figura 22. Extracción de la muestra de suelo.



Figura 23. Secado de muestra en estufa 105 °C por 3 días.

ANEXO 3

Cuadro 8. Análisis de varianza del porcentaje de estabilidad de agregados estructurales.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig. (0.05)
Sistema	295.17	1	295.17	9.75	0.0021	*
Bloque	438.69	2	219.35	7.25	0.0009	*
Genotipo	490.55	10	49.05	1.62	0.1036	
Error	5569.75	184	30.27			
Total	6794.16	197				

C.V. = 7.68%

Cuadro 9. Análisis de varianza de la materia orgánica de los agregados estructurales.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig. (0.05)
Sistema	14,72	1	14,72	1,30	0,2600	N.S.
Bloque	52,02	2	26,01	2,29	0,1112	N.S.
Genotipo	56,13	10	5,61	0,49	0,8859	
Error	590,21	52	11,35			
Total	713,08	65				

C.V. = 35.53%

Cuadro 10. Análisis de varianza del contenido de carbono de la materia orgánica de los agregados estructurales.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig. (0.05)
Sistema	4,94	1	4,94	1,29	0,2609	N.S.
Bloque	17,51	2	8,75	2,29	0,1113	N.S.
Genotipo	18,90	10	1,89	0,49	0,8858	
Error	198,68	52	3,82			
Total	240,02	65				

C.V.= 35.53%

Cuadro 11. Análisis de varianza de la densidad aparente de 0-5cm. de profundidad.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig. (0.05)
Sistema	1,3E-03	1	1,3E-03	0,04	0,8401	N.S.
Bloque	0,13	2	0,06	2,06	0,1378	N.S.
Genotipo	0,27	10	0,03	0,88	0,5539	
Error	1,61	52	0,03			
Total	2,02	65				

C.V. = 18,18%

Cuadro 12. Análisis de varianza de la densidad aparente de 5-10 cm. de profundidad.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig. (0.05)
Sistema	1,5E-06	1	1,5E-06	1,1E-04	0,9917	N.S.
Bloque	0,07	2	0,03	2,47	0,0945	N.S.
Genotipo	0,17	10	0,02	1,23	0,2965	
Error	0,73	52	0,01			
Total	0,97	65				

C.V. = 9.36%

Cuadro 13. Análisis de varianza de la resistencia del suelo a la penetración de 0-5 cm. de profundidad.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig. (0.05)
Sistema	10,94	1	10,94	14,89	0,0002	*
Bloque	1,37	2	0,69	0,93	0,3957	N.S.
Genotipo	17,97	10	1,80	2,44	0,0110	
Error	85,25	118	0,73			
Total	114,49	131				

C.V. = 27.30%

Cuadro 14. Análisis de varianza de la resistencia del suelo a la penetración de 5-10 cm. de profundidad y las diferencias significativas (*Test Tukey, P<0.05*) de cada uso del suelo.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig. (0.05)
Sistema	1,90	1	1,90	2,08	0,1519	N.S.
Bloque	2,88	2	1,44	1,57	0,2119	N.S.
Genotipo	13,27	10	1,33	1,45	0,1677	
Error	105,26	118	0,92			
Total	123,66	131				

C.V. = 21.51%