

**FRACCIONAMIENTO FISICO DE LA MATERIA ORGANICA BAJO DIFERENTES
USOS DEL SUELO EN UN TYPIC FULVUDAND**

**MIRIAM DEL PILAR MARTINEZ AZAIN
CATHERINE YICEL MENESES MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

**FRACCIONAMIENTO FISICO DE LA MATERIA ORGANICA BAJO DIFERENTES
USOS DEL SUELO EN UN TYPIC FULVUDAND**

**MIRIAM DEL PILAR MARTINEZ AZAIN
CATHERINE YICEL MENESES MUÑOZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
INGENIERO AGROFORESTAL**

Presidente

HERNAN BURBANO ORJUELA I.A., M. Sc.

Copresidente

ALBERTO UNIGARRO S., I.A., M. Sc.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2012

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1^{ro} del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del Presidente de tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Febrero de 2012

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y METODOS.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
CONCLUSIONES.....	31
AGRADECIMIENTOS.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....	32

FRACCIONAMIENTO FISICO DE LA MATERIA ORGANICA BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO EN UN TYPIC FULVUDAND

PHYSICAL FRACTIONATION OF ORGANIC MATTER IN DIFFERENT SOIL USE IN A TYPIC FULVUDAND¹

Catherine Y. Meneses M.², Miriam Del P. Martínez A.², Hernán Burbano O.³ Alberto Unigarro.⁴

RESUMEN

Este estudio se realizó en el municipio de Tangua en la vereda La Marqueza Alta, a 3400 msnm, 1° 5' 41.16" latitud norte y 77° 26' 28.73" longitud oeste del meridiano de Greenwich; pertenece al Santuario de Flora y Fauna Galeras ubicado a 12 km de la ciudad de Pasto, con una temperatura entre los 3°C y 13°C. Se hizo el fraccionamiento físico de la materia orgánica de un suelo clasificado como Typic Fulvudand bajo seis usos del suelo: bosque secundario, cultivo Papa (*Solanum tuberosum*), Cerca vivas con dos especies diferentes: acacia (*Acacia melanoxylon*), ciprés (*Cupressus sempervirens*), arreglo sistema silvopastoril (rotación de pasturas) Raygrass (*Lolium perenne*), Saboya (*Holcus lanatus*), pasto azul orchoro (*Dactylis glomerata*) y pasturas (*kikuyo*). En cada uso se tomaron cuatro muestras de suelo a dos profundidades (0 -10cm y 10 – 20cm), determinándose el contenido de C, relación C/N, carbono total, grado de humificación y relación fracción lábil / carbono total. El análisis estadístico se realizó mediante un ANDEVA compleja con tres factores. Las medias se compararon con la prueba de TUKEY. Los contenidos más altos de carbono orgánico para las fracciones de la MOS

¹ Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agroforestal.

²Estudiantes de Ingeniera Agroforestal; Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2012; E – mail: catayi998@gmail.com., mirimarzi@hotmail.com

³ I. A. MsC. Profesor distinguido. Universidad de Nariño. Facultad de ciencias agrícolas. Departamento de recursos naturales y sistemas agroforestales. 2012. Director regional Ciencia del suelo; E – mail:hernan.burbano@gmail.com

⁴ I. A. MsC. en ciencias agrarias con énfasis en suelos. E-mail: unilab@udenar.edu.co

se presentaron en la fracción lábil o materia orgánica fresca (MOF) para los usos de bosque (14,25 C*100^{-1g}) y SSP (12,98 C*100^{-1g}), diferenciándose estadísticamente del cultivo de papa (6,88C*100^{-1g}) y pasturas (7.92 88C*100^{-1g}), con los menores contenido de carbono en la fracción lábil. En la profundidad de 0-10cm se encontraron los contenidos más altos de fracciones en la MOS, con un 11.13 C*100^{-1g} de suelo de fracción lábil y 1.43 C*100^{-1g} de suelo de fracción estable, además a esta profundidad se presentó mayor grado de humificación con un valor de 99.59 C*100^{-1g} suelo. Los valores más altos para la relación C/N en suelos volcánicos Typic fulvudand se presentaron en los usos de cerca de Ciprés (19,87), bosque secundario (19,65) y arreglo de SSP (rotación de pasturas) (18,87), a diferencia de los usos de cultivo de papa (1656) y pasturas (15.60) que presentaron los valores más bajos. Los usos de bosque secundario (14,25/15.94) y arreglo de SSP (rotación de pasturas) (12.98/14.32), presentaron la relación más alta de fracción lábil/carbono total, a diferencia de el uso de pasturas (0.76/8.68) que registro los valores más bajos.

Palabras clave: fracción Lábil, Sistema Silvopastoril, Humificación, uso.

ABSTRACT

This study was carried out at the town of Tangua, village of La Marqueza Alta, at 3400 m, 1 ° 5 '41.16 "north latitude and 77 ° 26' 28.73" west longitude the Greenwich's meridian, belongs to the "santuario de Flora y Fauna Galeras" located 12 km from the city of Pasto, it temperature oscillate between 3 ° C and 13 ° C. It was made the physical fractionation of soil organic matter in a soil classified as typic fulvudand, under six land uses: secondary forest, growing potato (*Solanum tuberosum*), two different fence alive species of Acacia (*Acacia melanoxylon*), Cipres (*Cupressus sempervirens*), silvopastoral system (rotational pasture) Ryegrass (*Lolium perenne*), Saboya (*Holcus lanatus*), bluegrass orchard (*Dactylis glomerata*) and pastures (*kikuyo*). At everyone use, were taken in each four replicates (soil samples) at two depths (0-10cm and 10 - 20cm), Physical fractionation was performed and determined granulometric, content of C, C/N ration, total carbon, degree of humification and labile fraction relationship labile fraction/total carbon. Statistical, Analysis was performed using an ANOVA with three factors complex,

Measures were compared with Tukey's test. The highest content of C MOS fractions corresponded to the labile fraction or fresh organic matter (MOF) for the uses of forest (14.25 C*100^{-1g} soil) and SSP (12.98 C*100^{-1g}), differing statistically from potato (6.88 C*100^{-1g} of soil) and pasture (7.92 C*100^{-1g} soil), with lower carbon content in the labile fraction. In the 0-10cm depth the highest content MOS fractions, with a 11.13 C/100g labile fraction of soil and 1.43 C*100^{-1g} stable fraction of soil, as well at this depth was greater degree of humification with a value of 99.59 C*100^{-1g} soil. The highest values for the C / N ration in volcanic soils Typic Fulvudand corresponded at the use of near Cypress (19.87), secondary forest (19.65) and under SSP (rotational grazing) (18.87), unlike the uses of the potato crop (16.56) and pasture (15.60) presented the lowest values. The use of secondary forest (14.25 / 15.94) and SSP (rotational grazing) (12.98/14.32) showed the highest labile fraction / total carbon ratio, as opposed to the use of pastures (0.76/8.68) to register the lowest values

Key words: labile fraction, silvopastoral system, humification, use

INTRODUCCIÓN

En Colombia la degradación de los suelos muestra niveles preocupantes, según el IGAC, (1998) la pérdida de suelo es del orden de 170,000 a 200,000 t/ha por año. Cerca de 56 millones de hectáreas se encuentran afectadas por erosión y de ellas 60% se ubican en la región Andina (Rivera y Gómez, 1991). El uso antrópico del suelo es el principal responsable de la pérdida de suelo y reducción de sus reservas orgánicas; estimándose pérdidas entre 30 y 50% del carbono orgánico edáfico (COS) en la capa arable, después de 20 a 30 años de cultivo (Roscoe y Buurman, 2003). Sin duda, el laboreo intensivo es la práctica del sistema productivo que más afecta la reducción del COS, al alterar el ciclo de C y, por consiguiente, modificar la calidad del humus al desproteger el suelo de cobertura (Matus, 1994; Piccolo *et al.*, 1996).

Una disminución de las reservas orgánicas del suelo trae como consecuencia, a corto plazo, una reducción del rendimiento potencial de los cultivos (Manna, *et al.*, 2003), una baja actividad biológica, encostramiento, el suelo se hace vulnerable a la compactación, deficiente estructuración, lo que causa un inadecuado drenaje, una menor capacidad de retención hídrica y se reduce la capacidad de restauración de nutrimentos, exponiendo el sistema a la acción erosiva (Ghunan y Sur, 2001; Holland, 2004).

Es por ello, que el contenido de la MOS juega un rol importante en la formación y estabilidad de la estructura del suelo, y tiene un fuerte impacto en la infiltración de agua, desarrollo de raíces y resistencia a erosión, debido a que algunas degradaciones en las propiedades mencionadas son irreversibles y la MOS es crucial en la sostenibilidad de ecosistemas agrícolas (Stevenson y Cole, 1999). Un efecto adicional de la MOS en la productividad agrícola es ser fuente importante de nutrientes, y su cuantificación es esencial para adoptar prácticas más sostenibles de manejo del suelo (Christensen, 1996). Esto último dependiendo del impacto generado por el manejo agronómico sobre las diferentes fracciones de la MOS (Aguilera *et al.*, 1992; Cambardella y Elliott, 1992; Janzen *et al.*, 1992).

Por lo anterior la MOS se considera el principal indicador, ya que posee una influencia significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Funaro, 2004), sin embargo existen métodos de fraccionamiento físico la de MOS, los cuales se consideran químicamente menos destructivos y sus resultados están directamente relacionados con la estructura y función de la MO (Galantini y Suner., 2008)

Por tal razón, es necesario realizar este tipo de investigaciones porque los métodos más comúnmente usados para medir y caracterizar la materia orgánica del suelo (MOS) se han basado en el uso de extractantes químicos que permiten determinar el carbono orgánico, los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y las huminas; sin embargo, este tipo de fraccionamiento tiene como limitante el hecho que no permite establecer la relación entre la dinámica de la MOS y la disponibilidad de nutrientes, debido a que no mide las fracciones de materia orgánica biológicamente activas (Hernández, 2004).

Sin embargo el fraccionamiento físico de la materia orgánica contribuye de manera significativa a éste propósito, porque permite conocer la dinámica de la materia orgánica, y a través de sus fracciones lábil y pesada se puede establecer la calidad de la MOS, esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclado más lento, por ello se necesita gran cantidad de años para observar esas diferencias. En cambio, las fracciones lábiles son más sensibles a los efectos del uso de la tierra, motivo por el cual pueden utilizarse como indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos, de la fertilización o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Haynes, 2000; Six *et al.*, 2002).

Estudios realizados por Zagal *et al.*, (2002), demostraron que la proporción de C o N del suelo, como C o N de la fracción lábil, presentan valores similares con valores de C – fracción lábil 6.98 - 10.75%; valores de N – FL 6.24 - 9.53% pues a medida que se aumentó la intensidad de uso del suelo, los rangos para las cantidades de fracción lábil fueron de 40.39 a 58.43 gFlkg-1suelo. Asimismo comparando los diferentes manejos agronómicos, la mayor cantidad de fracción lábil

se encontró en el suelo sin uso, donde existió una mínima exportación de biomasa y nutrientes con una vegetación permanente que generó altos retornos de residuos vegetales.

Pero también se encontraron valores altos en suelos forestales, que son explicados por las mayores cantidades de materia orgánica que poseen los suelos de origen volcánico, como también por el procedimiento utilizado de separación (sedimentación) de la fracción lábil lo que originó la formación de sedimentos insuficientemente estables que significó la re suspensión de algunas partículas de suelo (arcilla y limo) junto a la fracción lábil (Zagal *et al.*, 2002).

El objetivo de esta investigación fue realizar el fraccionamiento físico de la materia orgánica de un Typic Fulvudand bajo seis usos del suelo: bosque secundario, cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), cerca de ciprés (*Cupressus sempervirens*), cerca de acacia (*Acacia melanoxylon*), arreglo silvopastoril (rotación de pasturas) y pasturas, donde se evaluó el contenido de C en la fracción de la materia orgánica fresca (MOF) y la fracción de la materia orgánica humificada (MOH).

MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrolló en el municipio de Tangua en la vereda La Marqueza Alta, la cual se encuentra a una altura de 3400 msnm a 1° 5' 41.16" longitud norte y 77° 26' 28.73" longitud oeste del meridiano de Greenwich. Hidrográficamente corresponde a la subcuenca del río Pasto. La temperatura media anual oscila entre los 3°C y 13°C. La precipitación anual está entre 790 y 2.000 mm, considerada bimodal; la humedad relativa promedio se ha estimado en un 67%. (López., 1994; Bedoya y Morillo 2001). Los Suelos estudiados pertenecen al orden andisoles que presentan contenidos altos de materia orgánica especialmente en los horizontes superficiales (Luna, 1969). Dentro de la Clasificación taxonómica corresponde a Typic Fulvudand son suelos originados de ceniza volcánica que yacen sobre tobas de ceniza y lapilli; son muy profundos y moderadamente profundos, bien a regularmente drenados y de fertilidad alta y moderada. Estos suelos se presentan en el banco de las mesetas dentro del paisaje de altiplanicie (IGAC, 2004).

TRATAMIENTOS.

Bosque secundario T₁.

En este bosque existe una gran diversidad de vegetación como son los bosques, matorrales altos y achaparrados con presencia de árboles y arbustivas, el tratamiento de estudio corresponde a comunidades vegetales compuesta por árboles entre los 4 y 10 m de altura, con predominio de dominados por *Weinmannia* (encenillo), *Hesperomeles* (mortiño), *Miconias* (amarillo), alisos (*Alnus jorulensis*) y canchos (*Brunellia tomentosa*), gran variedad de árboles reconocidos por los campesinos son de diferente uso como la producción de madera o leña, frutales como el motilón y capulí y medicinales como el cerote (Lopez., 1994).

Cultivo de papa T₂ (*Solanum tuberosum*) en rotación con pasto ray grass (*Lolium perenne*).

Cuenta con un área de 3 has aproximadamente, el periodo de rotación de los cultivos es de cinco años. El pasto se siembra una vez se cosecha la papa, la pastura se la implementa durante un año. Este lote presenta manejo desde hace 50 años, y para la fertilización del cultivo se utiliza una mezcla de fertilizante convencional (10-30-10) y abono orgánico.

Cerca viva de acacia japonesa T₃ (*Acacia melanoxylum*). Cuenta con una extensión de 500 m lineales, su implementación se realizó hace 5 años, la cerca se distribuye en dos franjas a una distancia de 2m, no se realizan manejos silviculturales. Esta cerca se utiliza principalmente para remplazar cercas muertas y porque han tenido buenas características para la recuperación de suelos, además porque cumple con la función de proteger al ganado contra los vientos.

Cerca viva de ciprés T₄ (*Cupressus sempervirens*). Este tipo de uso tiene una extensión de 300 m lineales, tiene una edad de 25 años aproximadamente, no presenta ningún tipo de manejo silvicultural, pero cumple con la función principal de la delimitación de terrenos.

Arreglo silvopastoril (rotación de pasturas) T₅. Ray grass (*Lolium perenne*), pasto zaboya (*Holcus lannatus*), pasto azul orchoro (*Dactylis glomerata*). Cuenta con un área de 5 has. Sometida en un pastoreo constante, presentando características de buena fertilidad. Este lote está

dividido en 5 franjas y cercado con alambre de puas, en el contorno se encuentra cercas de acacia (*Acacia melanoxylum*). Las rotaciones del ganado se hacen cada 5 días; una vez realizado el pastoreo se aplica un insumo desarrollado por los trabajadores de la finca denominado caldo microbiano.

Pasturas (Kikuyo)T⁶: Tiene una área de 1 ha, este uso se encontraba en procesos de degradación productiva, por tener baja disponibilidad forrajera, producto de la pendiente del terreno de 40%, lo cual facilita la escorrentía superficial provocando un lavado de nutrientes del suelo, además se evidenciaba la falta de manejo agronómico a las pasturas. Respaldando este criterio Spain y Gualdrón (1991) afirman que en las pasturas la degradación está ligada a prácticas de manejo no apropiadas como lo son: El establecimiento en zonas con suelos frágiles, la siembra de especies pobremente adaptadas, el pastoreo excesivo durante la época lluviosa, la quema incontrolada y el agotamiento de nutrientes en el suelo.

Muestreo

En los uso se tomaron muestras de suelo con cuatro repeticiones a dos profundidades 0 -10cm y 10 – 20cm, en cada repetición se tomaron 5 submuestras, estas se homogenizaron, se empacaron en bolsas plásticas de un kilogramo, y se trasladaron al Laboratorio de Docencia de Suelos de la Universidad de Nariño, para realizar los análisis concernientes a la investigación. Se utilizaron seis tratamientos los cuales corresponden a:

Metodología laboratorio.

Método Granulométrico de Separación de la Materia Orgánica Fresca de la Fracción Humificada (IGAC, 2006)

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por 10 μ m. El fraccionamiento granulométrico se realizó por tamizado húmedo, previa dispersión por agitación. Se agitaron las muestras de suelo con agua destilada y seis bolitas de ágata, durante 16 horas, para dispersar los agregados. Luego se las pasó a través de un tamiz de 53 μ m de abertura de malla, lavando con agua destilada.

Se recogieron en forma separada dos fracciones, secándolas a 40°C. Sobre las Fracción > 53µm = Materia Orgánica Fresca (MOF) y Fracción < 53µm = Materia Orgánica Humificada (MOH), se determinó el contenido de carbono método de Walkley y Black (Unigarro y Carreño., 2005) ver (anexo 1).

Cuadro 1. Variables a evaluar.

Variables a evaluar
Carbono/100g de suelo
Carbono Total
Grado de Humificación
Relación C/N
Relación Fracción lábil/Carbono Total

CÁLCULOS

$F > 50\mu m + F < 50\mu m \sim 35g$ (descontando el proceso de humedad)

$$\text{Carbono de MOH / 100g suelo} = \frac{\%CF < 50\mu m \times F < 50\mu m}{F < 50\mu m + F > 50\mu m}$$

$$\text{Carbono de MOF / 100g suelo} = \frac{\%CF > 50\mu m \times F > 50\mu m}{F < 50\mu m + F > 50\mu m}$$

$$\% \text{Carbono del Suelo} = \frac{\%C \text{ MOF} + \%C \text{ MOH}}{\%C \text{ suelo}}$$

$$\text{Grado de humificación} = \frac{\% \text{ de MOH} \times 100}{\%C \text{ suelo}}$$

Donde:

$F < 50\mu m =$ peso de la fracción menor de 50µm en gramos

$F > 50\mu\text{m} = \text{peso de la fracción mayor de } 50\mu\text{m en gramos}$

$\%CF < 50\mu\text{m} = \%C \text{ en la fracción menor de } 50\mu\text{m}$

$\%CF > 50\mu\text{m} = \%C \text{ en la fracción mayor de } 50\mu\text{m}$

Análisis estadístico.

Se utilizó un ANDEVA compleja comparando las medias a través de la prueba de TUKEY, aplicando el paquete estadístico INFOSAT 2008.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono del suelo ($C \cdot 100^{-1}g$ de suelo)

El análisis de varianza indica diferencias altamente significativas para usos y fracciones, diferencias estadísticas para profundidades, de igual manera para las interacciones usos x fracciones y profundidades x fracciones, no encontrándose diferencias para la interacción usos x profundidades, ni para usos x profundidades x fracciones (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de Varianza para Carbono del Suelo ($C/100g$ de suelo) bajo 6 usos en un Typic Fulvudand.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	2126,7	23	92,47	50,15	<0,0001
Usos	167,86	5	33,57	18,21**	<0,0001
Profundidades	18,6	1	18,6	10,09*	0,0022
Fracciones	1693,6	1	1693,6	918,57**	<0,0001
Usos*Profundidades	3,65	5	0,73	0,4ns	0,8498
Usos*Fracciones	196,1	5	39,22	21,27**	<0,0001
Profundidades*Fracciones	40,71	1	40,71	22,08**	<0,0001
Usos*Profundidades*Fracciones	6,2	5	1,24	0,67ns	0,6456
Error	132,75	72	1,84		
Total	2259,5	95			

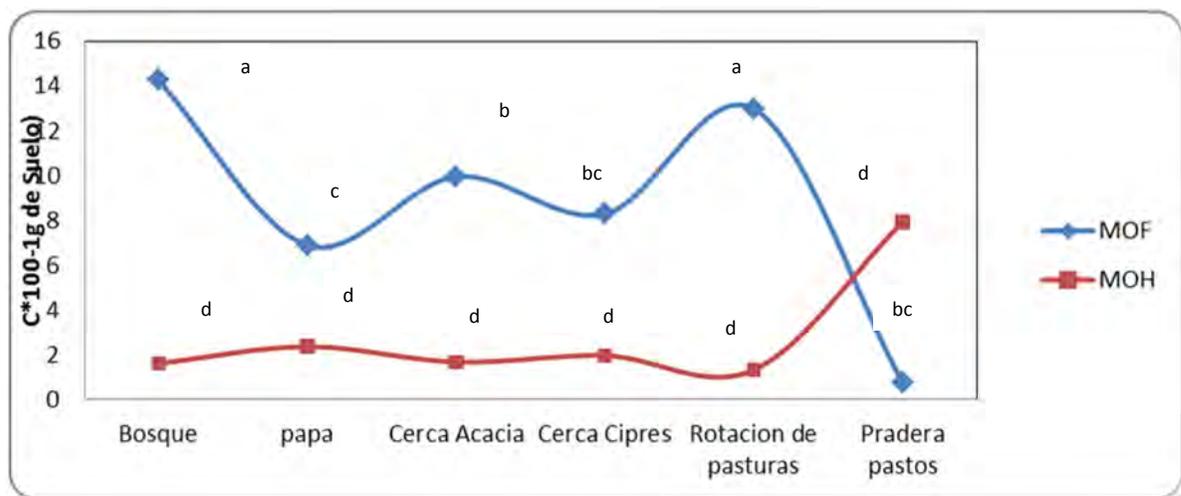
**Altamente significativo al 99% de confiabilidad.

*significativo para el 95% de confiabilidad.

Ns: No significativo.

La prueba de comparación de medias evidencia efectos de interacción para usos x fracciones es decir, la uso afecta al carbono en el suelo de forma diferencial a las fracciones, siendo el suelo bajo los usos de bosque y arreglo silvopastoril (rotación de pasturas), los que poseen los mayores contenidos de carbono en la materia orgánica fresca (MOF) o fracción lábil con valores de 14,25 y 12,98 $C \cdot 100^{-1}g$ de suelo respectivamente, diferenciándose estadísticamente los usos de papa (*Solanum tuberosum*) y pradera con contenidos referentes a 6,88 y 0,76 $C \cdot 100^{-1}g$ de suelo.

Todos los usos tienen estadísticamente los contenidos más bajos de materia orgánica humificada (MOH) o fracción humificada (Grafica 1).



Grafica 1. Contenido de C del suelo en la interacción usos*fracciones.

Este resultado es respaldado por Broquen *et al.*, (2005), quienes señalan que el tipo de vegetación (usos), suelo y características climáticas tienen influencia sobre las características del suelo; en particular sobre el contenido de carbono y la relación entre las fracciones. Este tipo de relación permite realizar un análisis más detallado de los resultados, teniendo en cuenta el contenido de carbono en las diferentes fracciones.

Estudios reportados por Ruipérez *et al.*, (2004), demostraron que algunas de las propiedades del suelo, dependen más de la continuidad de materia orgánica acumulada en las fracciones de tamaño (macroagregados y microagregados) que, a los contenidos de materia orgánica en el suelo (MOS). Por ejemplo, la cantidad de macroagregados aumenta cuando la materia orgánica fresca o lábil, está compuesta por residuos orgánicos recientemente acumulados. Por

otro lado, la microagregación del suelo mejora con la cantidad de materia orgánica humificada de tamaño fino.

Por lo anterior se puede considerar que la estructura del suelo y disponibilidad de nutrientes por las plantas, depende en gran parte de los niveles de descomposición de la materia orgánica fresca o lábil (Hevia *et al.*, 2003).

En los resultados obtenidos el uso de bosque contiene un alto contenido de materia orgánica fresca (MOF) o fracción lábil. Esto concuerda con los estudios de Birkeland (1984) quien afirma que, el sistema arbóreo deposita y acumula la mayor parte residuos en la superficie, lo cual influye para que el contenido de materia orgánica en el perfil decrezca a medida que aumenta la profundidad.

Por lo anterior el contenido de MOF se encuentra en mayor proporción en los primeros horizontes del suelo, porque se dispone de una uso constante de hojarasca favorece el aumento de MOF y con ello el contenido de carbono orgánico en el perfil del suelo es mayor, además de ello el tipo de suelo (Andisol) tiene la característica de acumular materia orgánica.

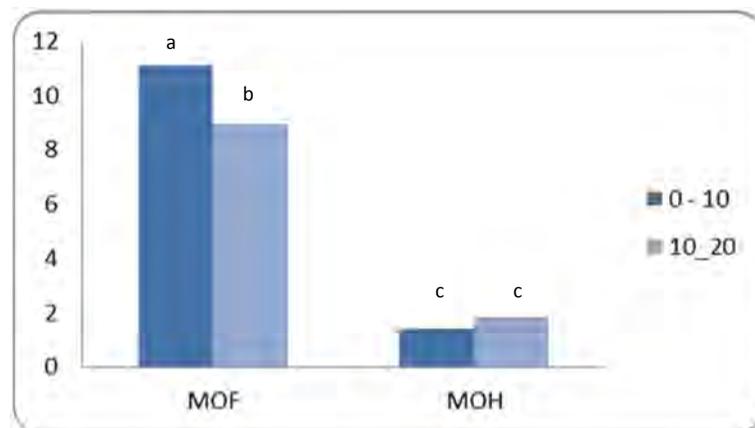
El arreglo silvopastoril presento altos contenidos de C orgánico, atribuido a la implementación de especies gramíneas tales como pasto raygrass (*Lolium perenne*), pasto Saboya (*Holcus lannatus*), pasto azul orchoro (*Dactylis glomerata*) y especies arbóreas como (*Acacia melanoxilon*), las cuales intervienen en la disponibilidad de material vegetal al suelo. Al respecto Díaz *et al.*, (2003) señalan que en sistemas silvopastoriles, la acumulación de hojarasca así como la incorporación al suelo de restos de gramíneas, leguminosas y estiércol influyen decisivamente sobre el contenido de la MOS y su calidad en el perfil.

Estos resultados guardan relación con los reportados por Cast (2002), quien encontró que la fertilidad del suelo, cantidad de materia orgánica y estructura de los agregados, fue más alta en

sistemas que incluyen árboles, influida principalmente por la cantidad de hojarasca y penetración que hacen las raíces hacia las partes más profundas del suelo.

Cairo *et al.*, (2008), al evaluar el efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica, encontraron que la asociación de árboles y gramíneas incrementó los niveles de la MOS y la diversidad de organismos, beneficiando la fertilidad del suelo.

La prueba de comparación de medias evidencia efectos de interacción para profundidades x fracciones es decir, la profundidad afecta el carbono en el suelo de forma diferencial a las fracciones, siendo el suelo a la profundidad de 0-10cm la posee los mayores contenidos de carbono en la materia orgánica fresca (MOF) o fracción lábil con un 11,13 C*100^{-1g} de suelo, diferenciándose estadísticamente de la profundidad de 10 – 20, que presentó los menores resultados de carbono en la materia orgánica humificada (MOH) o fracción pesada con valores de 8,95 y 1,85 C*100^{-1g} de suelo (Grafica 2).



Grafica 2. C del suelo en profundidad*fracciones.

Los resultados presentan mayor porcentaje de materia orgánica fresca (MOF) en la profundidad de 0-10cm, principalmente por formar parte del horizonte 0 del suelo (mantillo) y ser fuente de residuos de plantas, animales (macrofauna, mesofauna y microfauna) y raíces, donde ocurren procesos naturales relacionados con el efecto acumulativo del estiércol animal y aporte de

biomasa de las leguminosas y gramíneas, lo cual se manifiestan en un alto grado de actividad biológica; es importante considerar que estos resultados con mayores contenidos de MOF en la profundidad 0-10cm se presentaron en la mayoría de los usos.

Respaldando lo anterior Mahecha *et al.*, (1999), señalan que la calidad del suelo en los primeros 10 cm, suministra una mayor entrada orgánica sobre y debajo de la superficie del suelo, al haber una mayor diversidad de especies de plantas, cuya cantidad y calidad de hojarasca y raíces contribuyen decididamente a los ciclos biogeoquímicos.

Con respecto a los resultados de MOH son muy limitados, debido a que la descomposición de los residuos es mayor, por la variedad de fauna edáfica que se encuentra en la parte superficial del suelo y la cantidad de residuos incorporados, por lo tanto una pequeña proporción de la MOS original formara parte de la MOH, resultado que tiene similitud con los reportados por Bolinder *et al.*, (1999) quienes determinaron que en el contenido de carbono la MO lábil representa el mayor porcentaje de C en comparación con la MO humificada, ya que constituye una fuente de energía primaria para los organismos heterótrofos y una reserva de nutrientes.

Cabe resaltar que la velocidad de descomposición de cada una de las fracciones decrece con el aumento de la densidad o la disminución del tamaño (Hassink, 1995). En efecto la MO asociada a la fracción gruesa del suelo tiene un reciclado más rápido (Desjardins *et al.*, 2006), además de efectos como, la alta correlación entre los cambios en el contenido de MOP o MOL y la respiración del suelo o la mineralización del N, encontrada en muchos estudios, pone en evidencia el papel de esta fracción como fuente de energía y nutrientes en el corto plazo (Hassink, 1995; Alvarez y Lavado., 1998; Alvarez. 2000; Magid y Kjaergaard, 2001)

CARBONO TOTAL DEL SUELO

El análisis de varianza para la variable de Carbono total del suelo indica diferencias altamente significativas para usos y diferencias significativas para profundidades, sin embargo no se presentaron diferencias para la interacción usos x profundidades (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para la variable de Carbono Total del Suelo.

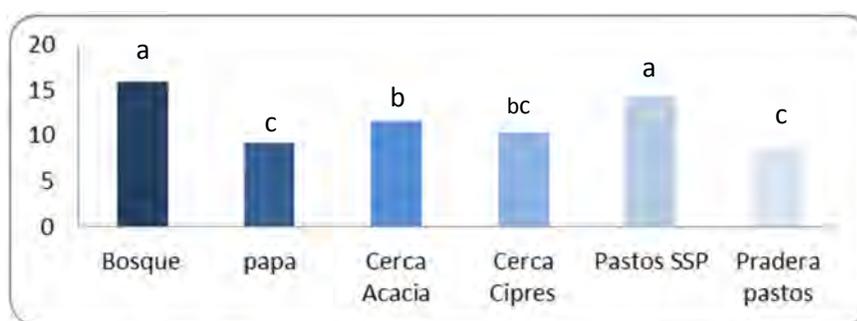
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	380,24	11	34,57	19,57**	<0,0001
Usos	335,73	5	67,15	38,02**	<0,0001
Profundidades	37,21	1	37,21	21,07**	<0,0001
Usos*Profundidades	7,31	5	1,46	0,83NS	0,5384
Error	63,58	36	1,77		
Total	443,82	47			

**Altamente significativo al 99% de confiabilidad.

*significativo para el 95% de confiabilidad.

Ns: No significativo.

La Prueba de Comparación de Medias, indica que el tipo de uso del suelo afecta el % de carbono, siendo los usos de Bosque y arreglo de sistema silvopastoril los que poseen mayores contenidos de carbono Total del suelo con un 15,94 y 14,32 C-total*100^{-1g} de suelo respectivamente, diferenciándose estadísticamente de la cerca de ciprés (*Cupressus sempervirens*) y el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y la pradera de pastos (*Kikuyo*), representando los valores mas bajos se con 11,63; 9,26 y 8,68 C-total*100^{-1g} de suelo (Grafica 3)



Grafica 3. Carbono del Total del Suelo (%) en función de las usos del suelo.

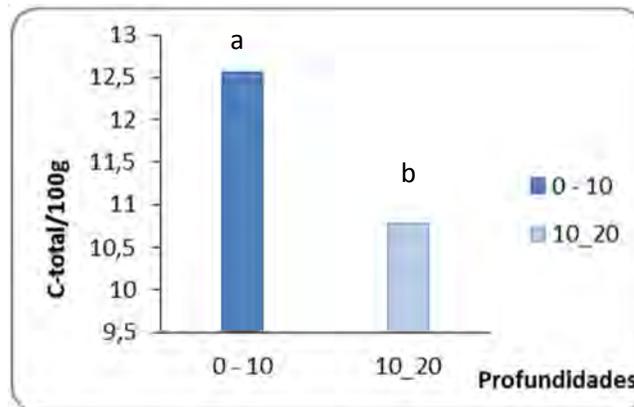
Los resultados anteriores, indican que el mayor porcentaje de C corresponde al uso bosque, con los más altos valores de C en la fracción lábil, la cual representa la mayor proporción de C en el suelo. Esto es corroborado por la FAO (2002) quien señala que cuando los suelos tienen

condiciones aeróbicas, una parte importante del C que ingresa al suelo es lábil y se mineraliza rápidamente y solo una pequeña fracción se acumula en la fracción húmica estable. En concordancia con lo precedente Robert (2002) afirma que, el C orgánico de los suelos naturales representa un balance dinámico entre la absorción de material y la pérdida por descomposición (mineralización). Estudios empíricos y modelos de simulación sugieren que las diferencias en cantidad y calidad de los aportes orgánicos al suelo dan las diferencias en el tamaño de los "pooles" orgánicos y las tasas de mineralización de C y N.

Según la FAO (2002), dichos contenidos de C en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados - degradados o mejorados- por los cambios en la cobertura de la tierra. Esta apreciación apoya los resultados encontrados en la presente investigación, siendo el arreglo sistema silvopastoril (rotación de pasturas), el uso con el segundo porcentaje más alto de C en el suelo. Nair (1993) señala que los sistemas silvopastoriles, contribuyen a mejorar la productividad del suelo y por ende favorecer el estrato herbáceo. Entre los mecanismos, esta la fijación de N, el reciclaje de nutrimentos, la eficiencia del uso de nutrimentos, el mantenimiento de la materia orgánica y el control de la erosión.

Es por ello importante tener en cuenta la habilidad para manejar sistemas de producción sustentables, como los sistemas agroforestales, ya que la cuantificación de las mencionadas fracciones es especialmente importante, porque permitiría adoptar las mejores prácticas para la conservación de la MOS en el sistema.

La prueba de comparación de medias evidencia diferencias significativas para el efecto simple de profundidades, es decir que las profundidades (0-10cm y 10-20cm) afectan el % de carbono, siendo la profundidad de 0-10 cm la que posee los mayores contenidos de carbono Total del suelo 12,56 c-total/100g de suelo, diferenciándose estadísticamente de la profundidad de 10-20cm que posee los menores contenidos 10, 79 C-total/100g de suelo (Grafica 4).



Grafica 4. Carbono Total del suelo (%) en función de las profundidades de muestreo.

Los mayores contenidos de Carbono total del Suelo se encontraron en los primeros 10 cm de profundidad. Según Banegas, *et al.*, (2007), ello podría estar relacionado con una intensa actividad biológica, en dicha profundidad, la cual es producto de un sistema radical, y una gran concentración de microorganismos en la rizosfera. Las raíces liberan compuestos orgánicos (Rizo deposición) (Jones *et al.*, 2004), específicos para cada especie y cultivar vegetal (Singh *et al.*, 2007). A través de estas secreciones, las plantas enriquecen las rizosfera (Duineveld *et al.*, 1998) con microorganismos que están adaptados a utilizar estos compuestos. La rizodeposición es un fenómeno influenciado por la edad de la planta y su estado fenológico (Singh *et al.*, 2007).

Los resultados de la presente investigación indican una mayor acumulación de residuos vegetales en la primera capa del suelo, influenciado por la Endofauna y restos de plantas y raíces.

Estudios de Oades (1995), establecieron que ésta es consecuencia de un mayor ingreso de C en los primeros centímetros del suelo. La capa superficial del suelo recibe la necromasa depositada por la planta (mantillo) y, además, contiene una gran proporción de raíces (aproximadamente el 74% de la biomasa radical) y microorganismos.

Al respecto investigaciones de Kogel y Knabner (2002), describen la actividad del mantillo vegetal, el provee de fuentes primarias para la formación de MOS; La cantidad y la composición

del mantillo son factores esenciales en los procesos de formación de la materia orgánica fresca y en consecuencia su humificación. Se suma a este aporte, las raíces y la rizodeposición. Para Fisher *et al.*, (1994) aquellas especies con sistema radical profundo constituyen una opción para incrementar en buena medida la captura de C, ya que pueden redistribuir el carbono en las capas más profundas del suelo (Nepstead *et al.*, 1991), donde se almacena y es menos susceptible a oxidación (Batjes y Sombroek, 1997).

Las tendencias de esta investigación son similares a las reportadas por López *et al.*, (1998) y Ruiz (2002) en estudios de suelo bajo sistemas silvopastoriles. El comportamiento del CO total del suelo en las diferentes profundidades se relaciona con el comportamiento de biomasa de raíces finas. Es decir tiene una tendencia a disminuir con el incremento en profundidad lo cual era de esperarse, ya que una de las principales entradas de C al suelo es la muerte constante de raíces finas mencionado anteriormente (Macdiken, 1997; Snowdon *et al.*, 2001).

Grado de Humificación

El análisis de varianza para la variable Grado de humificación indica diferencias significativas para profundidades, sin embargo no se encontraron diferencias para usos , ni para usos x profundidades (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para el Grado de Humificación.

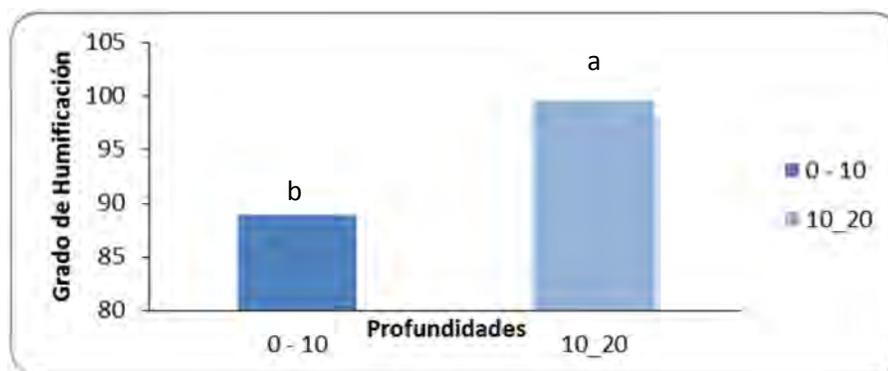
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	5156,66	11	468,79	1,45ns	0,1938
Usos	1909,25	5	381,85	1,18ns	0,3376
Profundidades	1359,25	1	1359,25	4,2*	0,0477
Usos*Profundidades	1888,15	5	377,63	1,17NS	0,3437
Error	11638,33	36	323,29		
Total	16794,99	47			

**Altamente significativo al 99% de confiabilidad.

*significativo para el 95% de confiabilidad.

Ns: No significativo.

En la prueba de comparación se presentaron diferencias significativas para el efecto simple de profundidades, es decir que las profundidades (0-10cm y 10-20cm) afectan el Grado de humificación, siendo la profundidad de 10-20 cm la que posee los mayores contenidos referentes al Grado de humificación con un 53% y la profundidad de 0-10cm posee los menores contenidos con un 47% (Grafica 5)



Grafica 5. Grado de Humificación en diferentes profundidades.

Los resultados del grado de humificación en todos los usos del suelo, indican que a medida que la profundidad es mayor el grado de humificación incrementa. Según Almendros *et al.*, (1979) esto sucede porque es el medio mineral el que juega el papel más importante en la humificación, más que la vegetación, por tal razón en la profundidad de 10-20 cm la acumulación de sustancias más complejas será mayor.

En efecto la estabilización de la MOS puede incrementar con el grado de humificación, ya que según Elliott y Coleman (1988) la asociación con la fase mineral y la protección de la MOS dentro de los agregados inducen que la MOS quede atrapada en los pequeños poros de los agregados, de manera que los microorganismos no pueden tener acceso al sustrato.

Los agregados están constituidos predominantemente por ácidos fulvicos (AF) en horizontes superiores y por ácidos húmicos (AH) en horizontes inferiores. La estabilidad de estos microagregados se debe a los componentes orgánicos más que a la fracción arcilla. Los ácidos húmicos son capaces de formar complejos órgano-metálicos con el hierro con enlaces

persistentes, mientras que los ácidos fúlvicos lo hacen con enlaces más débiles. En los microagregados predominan los formados por ácidos húmicos (AH) (Benito y Díaz., 1986)

RELACIÓN C/N

El análisis de varianza para la variable relación C/N indica diferencias altamente significativas para usos, sin embargo no se encontraron diferencias para la interacción usos x profundidades, ni para profundidades (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza para un diseño de tratamientos factorial, para la relación C/N

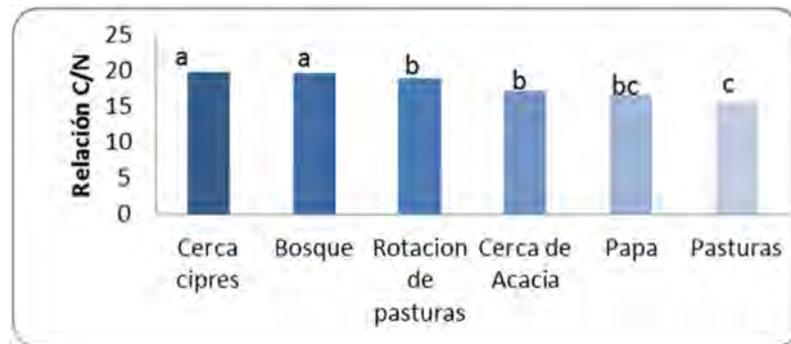
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	131,11	11	11,9	14,1**	<0,0001
Usos	121,58	5	24,3	28,7**	<0,0001
Profundidades	5,9	1	5,9	6,97*	0,0122
Usos*Profundidades	2,68	5	0,59	0,63ns	0,6749
Error	30,46	36	0,85		
Total	161,58	47			

**Altamente significativo al 99% de confiabilidad.

*significativo para el 95% de confiabilidad.

Ns: No significativo.

La Prueba de Comparación de Medias evidencia diferencias altamente significativas para el efecto simple usos, es decir que los usos incide en la relación C/N, siendo el suelo bajo los usos de ciprés (19,87) y bosque (19,65), los que posee la relación más alta de C/N, diferenciándose estadísticamente de las pasturas (*kikuyo*) con los valores mas bajos (15,6) (Grafica 6).



Grafica 6. La relación C/N del suelo en función de los usos.

Los resultados anteriores indican que la mayor relación C/N se encuentra en el suelo bajo el uso cerca de ciprés, indicando una menor mineralización, esto puede ser consecuencia de los componentes lignificados que tiene esta especie. Estudios realizados por Gallanudo *et al.*, (1974), señalan que existe una mayor resistencia a la descomposición de los residuos de las coníferas.

En lo anterior concordaron estudios de Pérez *et al.*, (2004) y Sicardi *et al.*, (2004) los cuales señalaron diferencias en la dinámica de reciclaje de nutrientes entre bosques, destacando un mayor nivel de calcio y N respecto de una mayor cantidad de resina, grasas, lignina y abundancia de fenoles en suelos de latifoliadas y coníferas nativas, respectivamente. Lo anterior se traduce en suelos con una mayor cantidad de carbono respecto a la del nitrógeno y se ha propuesto que esto se relaciona con una menor calidad del sustrato y por ende, con una descomposición más lenta (Swift *et al.*, 1979, Swift y Anderson 1989).

Los resultados del análisis estadístico muestran que el uso de bosque también tiene una alta relación C/N, esto según Harmon *et al.*, (1999) se debe a la descomposición de la hojarasca, que permite el retorno de los nutrientes a las plantas y organismos edáficos, al determinar la acumulación de carbono y nutrientes, así como la tasa y la frecuencia de la liberación de los mismos. Según Varela *et al.*, (2002), la descomposición de hojarasca puede verse alterada por modificaciones en el microclima de la hojarasca, lo que a su vez afecta la fauna edáfica y los microorganismos involucrados en el proceso. Tales modificaciones pueden determinar cambios en la dinámica de nutrientes y productividad de los fragmentos de bosque.

Al comparar los usos vegetales de cerca viva de acacia japonesa (*Acacia melanoxylon*), cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y pradera (*Pennisetum clandestinum*), estas registran relaciones de C/N menores, originadas por el tipo de componentes que contienen los residuos de estas usos, puesto que se degradan medianamente rápido por la actividad microbiana, como es el caso de la cerca de acacia, que además de proveer nitrógeno por ser una leguminosa arbórea la hojarasca es de fácil degradación.

Respaldando lo anterior, Ibáñez (2006), manifiesta que especies como alisos (*Alnus jorulensis*), fresnos (*Fraxinus excelsior*), olmos (*Ulmus minor*), carpes (*Carpinus betulus*), tilos (*Sambucus peruviana*), gramíneas, leguminosas (matorrales como retamas, tojos y genistas, o árboles como las acacias, además de numerosas herbáceas), serían ejemplos representativos de usos poco lignificados y ricos en nitrógeno, con una razón C/N (carbono/nitrógeno) inferior a 25.

Para el cultivo de papa los resultados se basan en que las fertilizaciones aportan elementos que nutren el cultivo, lo cual influye en los mayores contenidos de nitrógeno. Según Jordán, (2006), en el caso de los suelos cultivados, la influencia de factores edafogénicos como el clima o la vegetación se ven profundamente modificados debido a las prácticas de cultivo.

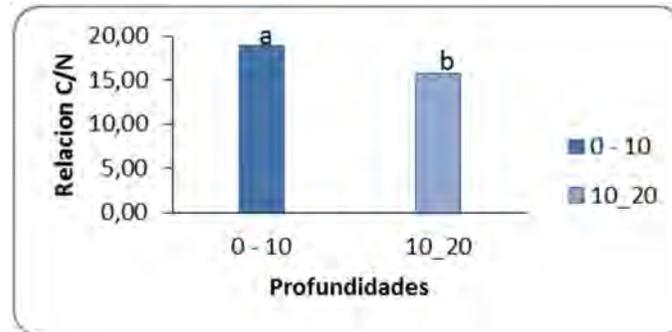
En general puede decirse que la transformación que lleva a cabo el hombre sobre los suelos cultivados produce un aumento de la tasa de mineralización de la materia orgánica. Esto tiene como efecto un aumento apreciable en la concentración de los elementos nutritivos asimilables en el suelo, y por lo tanto, un aumento de la fertilidad.

Sin embargo, al no ser sustituido el humus que se mineraliza, el suelo sufre un empobrecimiento progresivo en coloides orgánicos, lo que origina una disminución en la capacidad de cambio catiónico del complejo coloidal adsorbente y una pérdida de nutrientes. Además, la disminución del contenido en la MOS implica una degradación de sus propiedades (Jordán., 2006)

Finalmente el suelo bajo el uso de pradera, tiene la relación C/N más baja, lo cual se explica porque las raíces de los pastos son de corta vida y se incorporan rápidamente al complejo sistema del suelo. Según Ibáñez (2006), las formaciones de herbáceas (estepas, pampas, praderas, pastos),

debido a que disponen de sistemas radiculares muy densos, y a menudo que penetran en profundidad varios metros en el suelo, ejercen una acción muy concreta sobre los procesos de humificación, al incorporar MO a lo largo de una considerable extensión vertical en los perfiles.

La Prueba de Comparación de Medias evidencia que las diferencias altamente significativas se presentaron para el efecto simple profundidades, es decir las profundidades incide en la relación C/N, siendo la profundidad de 0-10 la que posee la relación más alta de C/N con valores (19,00) diferenciándose estadísticamente de la profundidad 10-20 que presento los menores valores (15,78) (Grafica 7).



Grafica 7. La relación C/N del suelo función de las profundidades del suelo.

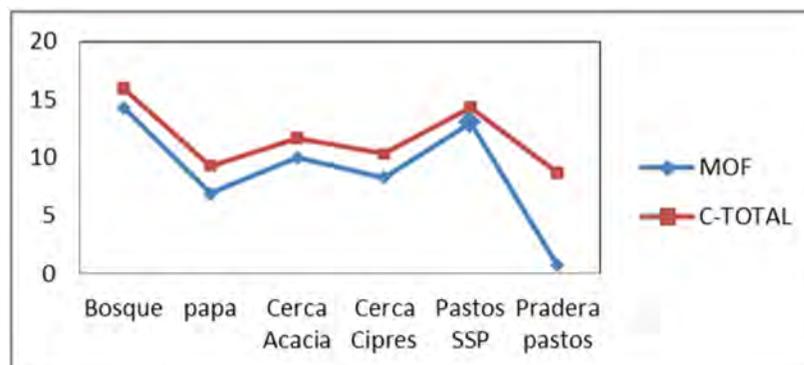
Estudios reportados por Sadzawka *et al.*, 1995, señalan que la relación C/N varía ampliamente, aunque, en general, muestra una tendencia a disminuir con la profundidad. Resultados que concuerdan con los encontrados en esta investigación.

Además en clima frío, la baja temperatura reduce la actividad microbiana y las dificultades para la alteración química de los minerales hacen que su incorporación al suelo sea muy escasa, la elevada acidez restringe aún más la actividad de bacterias y actinomicetos. Es por ello que la mineralización es muy lenta y existe una espesa capa (5 a 20 cm) de restos orgánicos incompletamente transformados (Vázquez, J. y Tapias, R. 2009), la velocidad de descomposición depende del tipo de resto vegetal aportado y del medio (García, y Sánchez, 2012).

En el perfil del suelo, la relación es más baja en los subsuelos que en las capas superficiales, dependiendo de la región climática, existiendo muy pocas variaciones de la relación C/N entre suelos manejados de modo similar. Los materiales con relación C/N relativamente alta (alrededor de 15 a 30) y la mitad de estos materiales puede metabolizarse en el término de algunos meses a algunos años, es así que la fracción activa puede ser incrementada rápidamente por la adición de residuos vegetales y animales frescos, pero también se pierde rápidamente cuando se reducen estas adiciones o por intensificación del laboreo (Corbella, y Fernández, 2011).

Relación C Lábil/Carbono Total

La relación C orgánico de la fracción lábil / C orgánico total es un indicador del efecto de diferentes sistemas productivos sobre la fracción orgánica del suelo (Galantini, 2002; Neufeldt *et al.*, 1999). Este indicador se utiliza para evaluar los cambios de MOS asociados a sistemas de labranza, uso y capacidad productiva de los suelos. Es por ello que se hizo la relación de estas dos formas de C, para ver cómo influyen las diferentes usos vegetales en las fracciones de la MO y cómo pueden estar relacionadas con la capacidad productiva del suelo (Grafica 8).



Grafica 8. Relación Fracción lábil / Carbono total en los suelos con diferentes usos.

Según los resultados precedentes, el uso que alcanzó la mayor relación fracción lábil/ carbono total fue el suelo con el uso de bosque. Al respecto Gregorich *et al.*, (2006) consideran que esto es consecuencia de los factores que influyen en la cantidad y calidad de la MO lábil, los cuales

están relacionados con el aporte de residuos y con la actividad biológica del suelo. Sin embargo, también se deben tener en cuenta las características del suelo (Quiroga et al., 2001; Galantini et al., 2004; Noellemeyer et al., 2006) y el efecto de los factores ambientales que modifican la producción y aporte de materia seca o su velocidad de transformación (Galantini y Rosell, 2006).

En relación con lo anterior, los resultados indican que el uso del suelo bajo sistema silvopastoril (rotación de praderas), es la segunda uso que posee la relación Carbono orgánico de la fracción lábil/ C orgánico total más alta, en efecto este indicador, muestra que este tipo de uso contribuye al mantenimiento de la fracción lábil del suelo, ya que Según Sánchez y Logan (1992) y Robert (1996), la implementación de este tipo de manejos , mejora la agregación y la estabilidad de la estructura del suelo, por el aumento del contenido de MO y ésta a su vez, incrementa la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo, así como la resistencia contra la erosión.

Por el contrario el suelo bajo uso de pasturas, presentó el valor más bajo, en la relación fracción lábil / carbono total, consecuencia de las prácticas de manejo inadecuadas que se realizan. Según Szott et al., (2000) esto puede estar asociado con cambios ecológicos y ambientales negativos, o en la reducción de cobertura vegetal, pérdida de fertilidad de suelo, disminución de la capacidad de infiltración de agua, erosión, pérdida de especies deseables o la invasión de las especies indeseables, lo cual se define como pasturas degradadas.

Este uso de pasturas además, se encuentra en fuertes pendientes, lo cual según Thompson y Frederick (1988) es la causa principal de la reducción significativa de la fracción lábil, por el limitado crecimiento de vegetación, dado por el lavado de MO. En consecuencia el contenido de materia orgánica es menor, no solo por el reducido crecimiento de la vegetación, sino porque parte de la MO producida se pierde por la erosión de las fuertes pendientes, sobre todo en su parte superior. De ese modo da como resultado un suelo relativamente poco profundo con un reducido porcentaje de MO y un contenido total de ésta aún más pequeño.

Apoyando lo anterior la FAO (2002) señala que el 70% de las tierras de pastoreo están o se encuentran en un proceso de degradación debido al sobrepastoreo, por lo que resulta de interés generar prácticas de manejo del suelo y de las praderas para controlar los procesos de degradación.

CONCLUSIONES

Los contenidos más altos de carbono orgánico para las fracciones de la MOS se presentaron en la fracción lábil o materia orgánica fresca (MOF) para los usos de bosque (14,25 C*100-1g suelo) y SSP (12,98 C*100-1g).

En la profundidad de 0-10cm se encontraron los contenidos más altos en las fracciones de la MOS, con un 11.13 C*100-1g de suelo de fracción lábil y 1.43 C*100-1g de suelo de fracción estable además, a esta profundidad se presentó el menor grado de humificación con un valor de 88,95 C*100-1g suelo.

Los valores más altos para la relación C/N en suelos volcánicos Typic fulvudand se presentaron en los usos de cerca de Ciprés (19,87) y bosque secundario (19,65), a diferencia de los usos de cultivo de papa (1656) y pasturas (15.60) que presentaron los valores más bajos.

Los usos de bosque secundario (14,25/15.94) y arreglo de SSP (rotación de pasturas) (12.98/14.32), presentaron la relación más alta de fracción lábil/carbono total, a diferencia del uso de pasturas (0.76/8.68) que registró los valores más bajos.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, a nuestras familias por el apoyo moral y económico para el desarrollo de esta investigación, a nuestro presidente Hernán Burbano, al Ingeniero Agroforestal Jorge Vélez, al Ingeniero Agrónomo Germán Chávez y por la ayuda en laboratorios al químico Juan Carlos Delgado.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, S., PINO, I. REYES, C; CAIOZZI, M. 1992. Efecto de la materia orgánica en la disponibilidad de fósforo, hierro, cobre y cinc en suelo Osorno. Agricultura Técnica (Chile) 52:422-425.
- ALMENDROS, G. POLO, A. DORADO, E. 1979. Caracterización de las sustancias húmicas en la fracción humina de los suelos. An EdafolAgobiol. pp 2002-2016.
- ALVAREZ, R. y LAVADO, R. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. Geoderma 83:127-141
- ALVAREZ, C. 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics soil. Sci. Soc. Am. J. 64:184-189.
- BANEGAS, N, ALBANESI, A.; PEDRAZA, R; NASCA, J, TORANZOS, M. 2007. Determinación de fracciones de carbono edáfico en un sistema pastoril bovino de la Llanura Deprimida Salina de Tucumán, Argentina. APPA - ALPA - Cusco, Perú.
- BATJES, N. y SOMBROEK, W. 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. Global Change Biology 3(2): 161-173.
- BEDOYA, S. y MORILLO, M. 2001. Evaluación de la transpiración de *Espeletia pycnophylla* durante las épocas húmeda y seca en las zonas de páramo del Santuario de Flora y Fauna Galeras. Trabajo de Grado. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Programa de Biología.
- BENITO, E., DÍAZ, F. 1986. Estudio de algunos factores que influyen en la formación de microagregados en los suelos del N.W. de España. An Edafol Agobiol 289-300.
- BIRKELAND, P. 1984. Soils and geomorphology. Revised edition of pedology, weathering and geomorphological research, first published in 1974. New York, Oxford: Oxford University Press. ISBN 0 19 503435 X. pp 372.

BOLINDER, M., ANGERS, D., GREGORICH, E., CARTER, M. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal of Soil Science* 79:37- 45.

BROQUEN, P., LOBARTINI, J., CANDAN, F., FALBO, G. 2005. Allophane, aluminum, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash of Argentina. *Geoderma*. 129: 167-177.

CAIRO, P., VARGAS, S., DÍAZ, B., NODAL, E., TORRES, P., JIMÉNEZ, R., DÁVILA, A., RODRÍGUEZ, O., RODRÍGUEZ, A. 2008. Influencia del manejo de los suelos Pardos Sialíticos sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas bajo condiciones de producción ganadera y agrícola. En: *Memorias II Taller Nacional de fertilidad de los suelos de la ganadería*. Departamento de Pastos y Forrajes. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.

CAMBARDELLA, C., y ELLIOTT E. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.

CAST. 2002. Environmental impacts of livestock on US grazing lands. Issue Paper [on line]. Disponible en:http://oregonstate.edu/dept/range/sites/default/files/1_Impacts_of_Livestock_on_U_S__Grazing_Lands.pdf>. no. 22, p. 1-16.

CHRISTENSEN, B. 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. In D. Powlson, P. Smith and J. Smith (eds.). *Proceedings of the NATO advanced research workshop "Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets"*. IACR-Rothamsted, Harpenden, UK. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

CORBELLA, R. Y FERNÁNDEZ J. 2011. *Materia Orgánica del Suelo*. Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán.

DÍAZ. M., CAIRO, P., MORALES, M., RODRÍGUEZ, O., ABREU, I. 2003. Influencia de diferentes sistemas de manejo de la materia orgánica sobre la fertilidad del suelo pardo con

carbonatos (Inceptisol) Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. CITMA, Villa Clara. Centro Agrícola, No. 3.

DESJARDINS, T., FOLGARAIT P., PANDO, A., BAHUON, C. 2006. Soil organic matter dynamics along a rice chronosequence in north-eastern Argentina: Evidence from natural ^{13}C abundance and particle size fractionation. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2753-2761.

DUINEVELD, B., ROSADO, A., ELSAS, J., VEEN, J. 1998. Analysis of the dynamics of bacterial communities in the rhizosphere of the chrysanthemum via denaturing gradient gel electrophoresis y substrate utilization patterns. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 4950-4957.

ELLIOTT, E., y COLEMAN, D. 1988. Let the soil work for us. *Ecol. Bull.* 39:23-32.

FAO. 2002. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. En: Informes sobre recursos mundiales de suelos. Cap. 3. ISBN 92-5-304690-2. pp73.

FISHER, M., RAO, I., AYARZA, M., LASCANO, C., SANZ, J., THOMAS, R., VERA, R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature (London)* 371: 236-238.

GALANTINI, J. 2002. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. *INTA, Argentina. RIA*, 30: 125–146.

_____, y ROSELL, R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Tillage Research* 87: 72-79.

_____, SENESI, N., BRUNETTI, G. y ROSELL R. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.

_____ y SUNER, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* [online].vol.25, n.1, pp. 41-55. ISSN 1668-298X

GALLANUDO, J., GONZALES, A Y SANCHEZ, P. 1974. Ecología de los pinares Españoles IV. *Pinus Radiata* D. Don. Ministerio de agricultura. Madrid, España. p 187.

GARCÍA, M. Y SÁNCHEZ, M. 2012. Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada. España Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias.

GREGORICH, E., BEARE, M., MCKIM, U. y SKJEMSTAD, J. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:975-985.

HAYNES, R. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32: 211-219.

HARMON, M., NADELHOFFER, K., BLAIR, J. 1999. Measuring decomposition, nutrient turnover and stores in plant litter, in G.P. Robertson, D. Coleman, C. S. Bledsore y P. Sollins (ed.): *Standard soil methods for long term ecological research*. New York, U.S.A. pp. 202 -239.

HASSINK, J. 1995. Prediction of the non-fertilizer N supply of mineral grassland soils. *Plant Soil* 176:71-79.

HERNÁNDEZ. H. 2004. Métodos de fraccionamiento físico de la materia orgánica. Universidad Nacional Experimental. Simón Rodríguez. Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos. Centro de Agroecología Tropical. Laboratorio de Biogeoquímica. 58 p.

HEVIA, G., BUSCHIAZZO, D., HEPPEL, E., URIOSTE, A., ANTON, E. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116: 265-277.

HOLLAND, J. 2004. Environmental consequences of adapting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence review. *Agric. Ecos. Env.* 103: 1-25.

IBÁÑEZ, J. 2006. Tipos de Hojarasca y Residuos Vegetales: Relación con la Descomposición de la Materia Orgánica del Suelo. Un Universo invisible bajo nuestros pies Los suelos y la vida BLOGS Madrid.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC, 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. Descripción de los suelos de Nariño.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. 648 p.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC, 1998. Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección General de Ecosistemas. Plan estratégico para la restauración y el establecimiento de bosques en Colombia –Plan Verde– Bosques para la paz. 50 p.

INFOSTAT. 2008. InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas. Argentina.

JANZEN, H., CAMPBELL, C., BRANDT S., LAFOND G., AND TOWNLEY-SMITH, L. 1992. Ligth-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1799-1806.

JONES, D., HODGE, A., KUZYAKOV, Y. 2004. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. Newphytol. 163: 459-480.

JORDÁN, L. 2006. Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Agrícola de la Universidad de Sevilla. Profesor asociado a la E.U.I.T.A.

KOGEL, I. KNABNER. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. Soil Biol. Biochem. 34: 139-162.

LÓPEZ, A., SCHLÖNVOIGT, A., IBRAHIM, M., KLEINN, I., KANNINEN, M. 1998. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona

Atlántica de Costa Rica. Revista Agroforestería en las Américas. Avances de investigación. (en línea). Consultado mayo 2006. Disponible en <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6328S/x6328S01.htm#Bibliografía>.

LOPEZ, N. 1994. Plan guía para el Plan de Manejo del Santuario de Flora y Fauna Galeras. Trabajo de Grado, Especialización en Ecología con énfasis en educación ambiental. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Escuela de Post Grado.

LUNA, C. 1969. Suelos derivados de cenizas volcánicas del Cauca. Sub dirección Agrologica, IGAC. Bogotá, 1975. Vol 11 N° 81. 25p.

MACDIKEN, K. 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. pp 87.

MAGID, J., and KAERGAARD, C. 2001. Recovering decomposing plant residues from the particulate soil organic matter fraction: Size versus density separation. *Biol. Fertil. Soils* 33:252-257.

MAHECHA, L., ROSALES, M., y Molina, C. 1999. Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* - *Cynodon plectostachyus* - *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. En Sánchez M. y M. Rosales (Eds.) *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. Serie FAO Producción y Salud Animal, No. 143. Roma, Italia. pp. 407-420.

MANNA, M., GHOSH, P., Y ACHARYA, L. 2003. Sustainable crop production through management of soil organic carbon in semiarid and tropical India. *J. Sustainable Agric.* 21: 87-116.

MATUS, F. 1994. The distribution of soil organic matter of various aggregates size classes in arable soils. II. Residual organic 14C, residual 14N, microbial biomass 14C and 14N mineralization rates in a sand and a clay soil. Pp. 99-114. In: Matus, F. J. (ed.). *Crop residues decomposition, residual soil organic matter and nitrogen mineralization in arable soils with*

contrasting textures. DLO Research Institute for Agro Biology and Soil Fertility. Wageningen, The Netherlands.

NAIR, P. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Países Bajos, Kluwer Academic Publishers. 232p.

NEPSTEAD, D., UHL, C., SERRAO, E. 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*. 20: 248-255.

NEUFELDT, H., AYARZA, M., RESCK, D., ZECH, W. 1999. Distribution of water – stable aggregates and aggregating agents in Oxisols of the Brazilian Cerrados. In R. Thomas and M. Ayarza: Sustainable land management for the Oxisols of the latinamerican savannas. pp 51 - 63.

NOELLEMEYER, E., QUIROGA A. AND ESTELRICH, D. 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments* 65: 142-155.

OADES, J. 1995. Recent advances in organomineral interactions: implications for carbon cycling and soil structure. In ‘Environmental impact of soil component interactions’. Vol. 1 (Eds PM Huang, J Berthelin, JM Bollag, WB McGill, AL Page) pp. 119-134.

PÉREZ, C., CARMONA, M., ARA, J ., VENA., ARMESTO., J. 2004 Sucesional changes in soil nitrogen availability, non-symbiotic nitrogen fixation and carbon/nitrogen ratios in southern Chilean forest ecosystems. *Oecologia* 140: 617-625.

PICCOLO, G., MIGHERINA, A., Y ROSELL, R. 1996. Fracciones de la materia orgánica humificada de un suelo laterítico en el periodo de degradación y recuperación de la fertilidad (Misiones, Argentina). Informe Técnico 64. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul. Misiones, Argentina.

QUIROGA, A., ORMEÑO, O., y PEINEMAN, N. 2001. Materia orgánica: un indicador de la calidad de los suelos relacionado con la productividad de los cultivos. *Boletín Divulgación Técnica* 70 EEA INTA Anguil. pp 28.

_____, y FUNARO, D. 2004. Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas Pp: 476.

RIVERA, P. Y GÓMEZ, A. 1991. Erosividad de las lluvias de la zona cafetera central colombiana. Caldas, Quindió y Risaralda. Cenicafé, Colombia. 42(2):37-52.

ROBERT, M. 1996. Le Sol: Interface DansL'environnement, Ressource pour le Développement. Dunod/Masson, Paris. pp 240.

_____. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra: Informes sobre recursos mundiales de suelos N° 96. FAO. 69 pp.

ROSCOE, R. Y BUURMAN, P. 2003. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. Soil Tillage Res. 70: 107- 119.

RUIPÉREZ, C., CALAFATE, R., MULAS, F., LAFUENTE, O., TURRION, M. 2004. El fraccionamiento Granulométrico de la materia orgánica como índice de su comportamiento y evolución en los suelos. Sociedad española de ciencias forestales. ISSN: 1575-2410. pp 6.

RUIZ, A. 2002. "Fijación y Almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua". Tirrualba, Costa Rica. M.Sc Tesis CATIE.

SADZAWKA R., PERALTA P., IBARRA M., PERALTA, J y FUENTES, J. 1995. Características químicas de suelos forestales chilenos. BOSQUE 16(1): 9-28

SÁNCHEZ, P y LOGAN, T. 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soil in the tropics. In: Myths and Science of Soils of the Tropics. Lal, R. and PA. Sanchez (eds). Soil Science Society of America. Special Publication. ; Madison, WI. 29:33-45.

SICARDI, M., GARCÍA, F., y FRIONIC, L. 2004. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. Applied Soil Ecology 27: 125-133.

- SINGH, B., MUNRO, S., POTTS, J. y MILLARD, P. 2007. Influence of grass species and soil type on rhizosphere microbial community structure in grassland soils. *Applied Soil Ecology* 36: 147-155.
- SIX, J., ELLIOT, E., and PAUSTIAN, K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggrgate formation. A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol.Biochem.*32: 2099-2103
- SPAIN, J. Y GUALDRÓN, R. 1991. Degradación y rehabilitación de pasturas. En: C. E. Lascano y J. Spain (eds.). Establecimiento y renovación de pasturas. En: VI Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p. 283.
- SNOWDON, P., RAISON, J., KEITH, H., MONTAGU, K., BI, K., RITSON, P., GRIERSON, P., ADAMS, M., BURROWS,W., EAMUS, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australia, Australian Greenhouse Office. pp 114.
- STEVENSON, F., y COLE, M. 1999. *Cycles of soil*. 427 p. 2nd ed.. John Wiley & Sons, New York, USA.
- SZOTT, L., IBRAHIM, M., BEER, J. 2000. The hamburger connection hangover: Cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE.71 p. use in Central América. Turrialba, CR, CATIE. pp 71.
- SWIFT, M., HEAL, O. y ANDERSON, J. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press. Berkley. U.S.A.
- _____ y ANDERSON, J. 1989. Decomposition. Pp. 547-567, in Lieth, H. y M.J.A. Werger (eds.): *Tropical Rain Forest Ecosystems. Biogeographical and Ecological Studies*.Elsevier. New York, U.S.A.
- THOMPSON, L., y FREDERICK, R. 1988 *Los suelos y su fertilidad*. 5 Reseñas Reverte. pp 649.

UNIGARRO, A., y CARRENO, M. 2005 "Métodos químicos para el análisis de suelos" En: Colombia, Ed: EDITORIAL UNIVERSITARIA. 2005. ISBN: v. 1. pp 72.

VARELA, A., BARRIGA, P., AHUMADA, P. 2002. Comparación De Factores Abióticos Relacionados Con La Descomposición De Hojarasca Entre Fragmentos Y No Fragmentos De Bosque Alto andino Nublado (Sabana De Bogotá, Colombia). Sociedad venezolana de ecología. *Ecotrópicos* 15(2):185-193.

VÁZQUEZ, J y TAPIAS, R. 2009 Manual de Climatología y Edafología Forestal. Escuela politécnica superior. Guía docente Ingeniería Técnica Forestal. Cap 7.

ZAGAL, E.; RODRÍGUEZ, N.; VIDAL, I. & FLORES, A. B. 2002. La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico como índice de cambios de la materia orgánica lábil. *Agricultura Técnica* 62(2):284-296.

Anexo 1.

METODO GRANULOMETRICO DE SEPARACION DE LA MATERIA ORGANICA FRESCA DE LA FRACCION HUMIFICADA.

