

Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia

Physical properties and organic matter content in different soil uses in Samaniego, Colombia

Edith L. Benavides B.¹; Lidia N. Morales P.² y Jorge F. Navia E.³

¹Ing. Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño; ²Ing. Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. ³I.A. Ph.D. Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

jornavia@uyahoo.com.

Resumen

El estudio se realizó en un Andisol clasificado como *Vitric Haplustand* del municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, a 1° 20'15" Latitud Norte y 77° 35' 28" Longitud Oeste, con una altura de 2.340 m.s.n.m, temperatura de 17°C, y una precipitación de 1.268 mm/año, se evaluaron algunas propiedades físicas y el contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con un arreglo factorial 3 x 2; el Factor A correspondió a los tratamientos usos del suelo, T₁: Pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Grama Dulce (*Paspalum distichu*), T₂: Árboles dispersos en potreros, de Quillotocto (*Tecoma stans*), Arrayan (*Myrcianthes leucoxyly*), y Pichuelo (*Senna pistacifolia*) y T₃: Bosque con árboles de Encino (*Weimania tomentosa*), Campanillo (*Delastoma integrifolium*), y Cucharero (*Myrsine guianensis*) y el Factor B correspondió a profundidades (P1: 0-15 cm; P2: 15-30 cm), con 3 repeticiones para un total de 18 unidades experimentales. El ANDEVA mostró diferencias altamente significativas para usos del suelo (P<0.01) y diferencias significativas (P<0.05) para profundidad. La interacción, no mostro efectos. El sistema agroforestal y el bosque evaluados (T2 y T3) ocasionaron un efecto positivo en las variables MOS, Da, Porosidad Total, estabilidad de agregados en agua y conductividad hidráulica. La profundidad P2 fue mejor que la P1 en las mismas variables. Se concluye que los sistemas agroforestales (SAFs) tienden a mejorar las propiedades físicas y la MOS del suelo, lo que conllevaría a la sustentabilidad del recurso suelo y agua.

Palabras clave: Agroforestería, sostenibilidad, agroecología, edafología

Abstract

The study was conducted in the municipality of Samaniego sidewalk Chuguldi in a Andisoil classified as vitric Haplustand with coordinates geographic 1 ° 20'15 "north latitude and 77 ° 35' 28" West, with a height of 2,340 meters, a temperature of 17 ° C and a monthly rainfall of 1,268 mm / year. Where were evaluated some physical properties and organic matter content of different land uses. We used a randomized complete block design in a 3x2 factorial arrangement, where A factor corresponded to the treatments land uses, T1: Prairie Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) and Grama Dulce (*Paspalum distichu*), T2: scattered paddocks of Quillotocto (*Tecoma stans*), Arrayan

(*Myrcianthes leucoxyly*) trees, and Pichuelo (*Senna pistacifolia*) and T3: Forest with trees Encino (*Weimania tomentosa*), Campanillo (*Delastoma integrifolium*)), and Cucharó (*Myrsine guianensis*) and Factor B: Corresponds to depths (0-15, 15-30), with 3 repetitions for a total of 18 experimental units, with the following treatments, T1: Prairie Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) and Sweet Grass (*Paspalum distichu*) T2: scattered trees in pastures, of Quillotocto (*Tecoma stans*), array (*Myrcianthes leucoxyly*) and Pichuelo (*Senna pistacifolia*) T3: Forest with oak trees (*Weimania tomentosa*), Bell (*Delastoma integrifolium*)) and Scoop (*Myrsine guianensis*). The ANOVA showed highly significant differences for land use ($P < 0.01$) and significant differences ($P < 0.05$) for depth. Interaction, showed no effects. Agroforestry systems and forest evaluated (T2 and T3) caused a positive effect on MOS, Da, Total Porosity, aggregate stability in water and hydraulic conductivity variables. The depth P2 P1 was better than in the same variables. It is concluded that agroforestry systems (AFS) tend to improve the physical properties and soil MOS, which would lead to the sustainability of water and soil resources.

Keywords: Agroforestry, sustainability, agroecology, soil science

Introducción

En Colombia, los sistemas de producción agropecuaria se han erigido tradicionalmente sobre la devastación de bosques, para la implementación de monocultivos que después de la degradación del suelo terminaron en pasturas degradadas dedicadas a ganadería extensiva, ocasionando un uso inadecuado del suelo por sobreuso y finalmente abandono de las tierras (FAO, 2010).

Según CORPONARIÑO (2002), el departamento de Nariño cuenta con una superficie de 3'326.800 ha aproximadamente, de las cuales, el 24.2% está dedicada a la agricultura y ganadería concentrada en la zona andina; caracterizada en gran parte por la utilización de malas prácticas de manejo de los suelos, induciendo a la pérdida gradual de suelo así como los impactos negativos generados en las propiedades físicas, químicas y biológicas, disminuyendo la calidad de los suelos (Semarnat, 2000).

Los sistemas agroforestales (SAFs) se constituyen en una alternativa para disminuir la deforestación y los procesos de

degradación, gracias al aporte de materia orgánica del suelo (MOS) proveniente de las especies que conforman estos sistemas, influyendo en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Camero, 1996) y sus efectos en la acumulación del C del suelo, actuando como sumideros de CO₂ atmosférico (Lal, 2004; IPCC, 2006).

Cardona y Sadeghian (2005), estudiando las propiedades físicas y químicas de suelos, en ocho localidades de la zona cafetera, encontraron que el contenido de MOS fue superior en suelos de cafetales que contaban con la presencia de árboles de sombrío, en relación al manejo de monocultivo de café; en este caso el establecimiento de los árboles, mejoró las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Pinzón y Amezcua (1991), evaluando los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de la compactación por el pisoteo de animales en pasturas del Piedemonte de Caquetá (Colombia), encontraron que la compactación fue mayor en los primeros 15 cm, viéndose afectada principalmente la macroporosidad del suelo influyendo en el

desarrollo radicular de las plantas y su productividad.

El objetivo de la presente investigación fue investigar el efecto de diferentes usos del suelo sobre algunas propiedades físicas y el contenido de la materia orgánica del suelo (MOS) a diferentes profundidades del suelo, Samaniego, departamento de Nariño, Colombia; con la finalidad de identificar los sistemas que involucran diferentes usos de suelo y aquellos que potencializan el mejoramiento de estas propiedades.

Metodología

El estudio se realizó en la vereda de Chuguldi, municipio de Samaniego en un Andisol, clasificado como *Vitric Haplustand*, a 1°20'15" de Latitud Norte y 77°35'28" de Longitud Oeste, con una altura de 2.340 m.s.n.m, temperatura promedio de 17°C y una precipitación de 1.268 mm/año.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA) en un arreglo Factorial 3x2;

donde el factor A correspondió a los siguientes usos T₁: Pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Grama Dulce (*Paspalum distichu*), T₂: Árboles dispersos en potreros, de Quillotoco (*Tecoma stans*), Arrayan (*Myrcianthes leucoxylay*), y Pichuelo (*Senna pistacifolia*) y T₃: Bosque con árboles de Encino (*Weimania tomentosa*), Campanillo (*Delastoma integrifolium*), y Cucharo (*Myrsine guianensis*) y el factor B correspondió a profundidades de muestreo (P1: 0-15 cm; P2: 15-30 cm), con 3 repeticiones para un total de 18 unidades experimentales.

Para cada uso del suelo se tomaron 18 muestras, correspondientes a 3 puntos de muestreo, a las dos profundidades (P1: 0-15 cm y P2: 15-30 cm) por tres repeticiones, para un total de 54 muestras para los tres usos evaluados, con el fin de determinar las variables consignadas en la Tabla 1, que incluyeron las siguientes metodologías.

Tabla 1. Metodologías utilizadas en la evaluación de algunas variables físicas y contenido de materia orgánica del suelo en los diferentes usos del suelo, municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010-2011.

Variable	Metodología	Referencia
Materia orgánica (MOS)	Determinación colorimétrica Walkley black	Unigarro y Carreño (2005)
Densidad aparente (Da)	Cilindro de vol. conocido	IGAC (1990)
Densidad real (Dr)	Picnómetro	Unigarro y Carreño (2005)
Porosidad (Pt)	$(1-Da/Dr)*100$	IGAC (1990)
Distribución de agregados del suelo (DMP)	En seco	Kemper y Rosenau (1965)
Medición de agregados estables (DMP1)	En agua por el método de Yoder	Yoder (1936)
Conductividad hidráulica (K) medida en laboratorio mediante cilindros de suelo empacados	Darcy	Darcy (1856)

El análisis e interpretación de los datos de las variables se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA), descomponiendo las fuentes de variación en efectos simples, usos y profundidades y en efectos dobles de usos*profundidades, en el programa estadístico SAS; y luego se realizó la prueba de Tukey para las variables que presentaron diferencias significativas.

Resultados y discusión

En la Tabla 2, el ANDEVA mostró que existieron diferencias altamente significativas para usos ($P < 0.01$) en materia orgánica del suelo (MOS), densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad total (P_t), distribución de agregados del suelo en seco (DMP), medición de agregados estables en agua (DMP1) y conductividad hidráulica (K), y diferencias significativas para profundidad ($P < 0.05$) en materia orgánica del suelo (MOS) y densidad aparente (D_a).

Tabla 2. Análisis de varianza de algunas variables físicas y contenido de materia orgánica, evaluadas en tres usos del suelo, municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010-2011.

CUADRADO MEDIO								
F. Variación	GL	M.O (%)	Da. (gr/cm ³)	Dr. (gr/cm ³)	Pt. (%)	Distribución de Agregados Seco (DMP)	Medición de agregados estables en agua (DMP)	Conduct. Hidráulica (cm/h)
Modelo	7	28,58 ^{ns}	0,02**	0,0860**	61,2936**	342,1422**	576,0317**	354,0293*
Bloques	2	0,73 ^{ns}	0,01**	0,0729 ^{ns}	2,7222 ^{ns}	28,1225 ^{ns}	15,0065 ^{ns}	1,4672 ^{ns}
Usos	2	59,69**	0,05**	0,1040**	210,7222**	0,0116**	0,0773**	0,0069*
Profundidad	1	69,74*	0,01**	0,0151 ^{ns}	1,3888 ^{ns}	1238,002 ^{ns}	78,0253 ^{ns}	65,0908 ^{ns}
Usos*Profundidad	2	4,73 ^{ns}	1,204 ^{ns}	0,0174 ^{ns}	0,3888 ^{ns}	2,0189 ^{ns}	0,0939 ^{ns}	1,1622 ^{ns}
Error	10	5,66	5,504	0,0412	1,9222	0,0724	0,0193	11.327

*: Significativo

** : Altamente significativo

ns: No significativo

Materia orgánica (MOS): La prueba de comparación de medias para usos indicó que los mejores tratamientos fueron el T₂ y T₃ con

valores de 13.73 y 13,34% respectivamente, mientras el más bajo fue el T₁ con 8,09% de MOS (tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medidas de Tukey con respecto a diferentes usos del suelo, municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010-2011.

TRATAMIENTOS	Materia orgánica (%)	Da. (gr/cm ³)	Dr. (gr/cm ³)	Pt (%)	Distribución de Agregados en Seco (DMP)	Agregados estables en agua (DMP1)	Cond. uct. Hidráulica (cm/h) (K)
PRADERA (T ₁)	8,09b	1,10 ^a	2,44b	54b	1,42c	1,34b	1,11b
ÁRBOLES DISPERSOS EN POTREROS (T ₂)	13,73 ^a	0,97b	2,32 ^a	60a	3,16a	3,00a	3,26 ^a
BOSQUE (T ₃)	13,34 ^a	0,92c	2,30 ^a	59a	2,83b	3,04a	2,51a

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas P<0.05 según el test de Tukey

El aporte de materia orgánica de las asociaciones de pasto kikuyo (*pennisetum clandestinum*) más árboles de Quillotoco (*Tecoma stans*), Arrayan (*Myrcianthes leucoxyly*), Pichuelo (*Senna spistacifolia*), Encino (*Weimania tomentosa*), Campanillo (*Delastoma integrifolium*) y Cucharó (*Myrsine guianensis*) implicaron un mayor reciclaje de nutrientes, incrementando la MOS (SCCS 1998).

Al evaluar algunas variables químicas en diferentes sistemas productivos y tiempos de uso en suelos del Altiplano de Nariño, Arteaga (2009), encontró que en el sistema barrera multiestrato y en el sistema Acacia con Aliso incrementaron los contenidos de MOS, en comparación con los sistemas monocultivo de papa y pradera. CIPAV (2007) reportó en suelos del departamento de Quindío en un uso de suelo de guaduales asociados a bosques un mayor contenido de materia orgánica (11.21%); mientras que en

ganaderías extensivas y de leche fueron menores de 7.82 y 8.03% respectivamente.

Los mayores contenidos de materia orgánica (MOS) se presentaron de 0-15 cm (13,69%), mientras el más bajo se presentó de 15-30 cm (9,75%) (Tabla 4), debido a que la actividad biológica de los microorganismos (hongos y bacterias) en la capa superficial del suelo, permiten aumentar la MOS ya que estos segregan sustancias carbonadas que permiten mayor estructuración de los suelos, aumentos en la porosidad, infiltración, aireación y retención de humedad (García 1990).

Méndez (2003) por otra parte demostró que el impacto de las gotas de lluvia arrastra los nutrientes del suelo, afectándose la producción de pastos debido a una reducción de la MOS bajando la fertilidad de los suelos.

Tabla 4. Profundidades del suelo en los tres usos del suelo, municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010-2011.

Profundidad	Materia Orgánica (%)	Densidad Aparente (g/cm ³)
0-15	13,69 ^a	1,02 ^a
15-30	9,65 ^b	0,97 ^b

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas P<0.05 según el test de Tukey

Densidad aparente (Da): Todos los tratamientos fueron diferentes (P<0.05), T₁ indicó valores de (1,10 gr/cm³), diferenciándose estadísticamente del T₂ con (0,97g/cm³) y del T₃ (0,92g/cm³); según Sánchez (1989), los monocultivos de pasturas sin cobertura arbórea y sometidos a una

sobrecarga animal, se aumenta el grado de compactación al mismo tiempo que incrementa la densidad aparente, disminuyendo la macroporosidad de los suelos, siendo mayor en suelos que presentan bajo contenido de materia orgánica, (Figura 1).

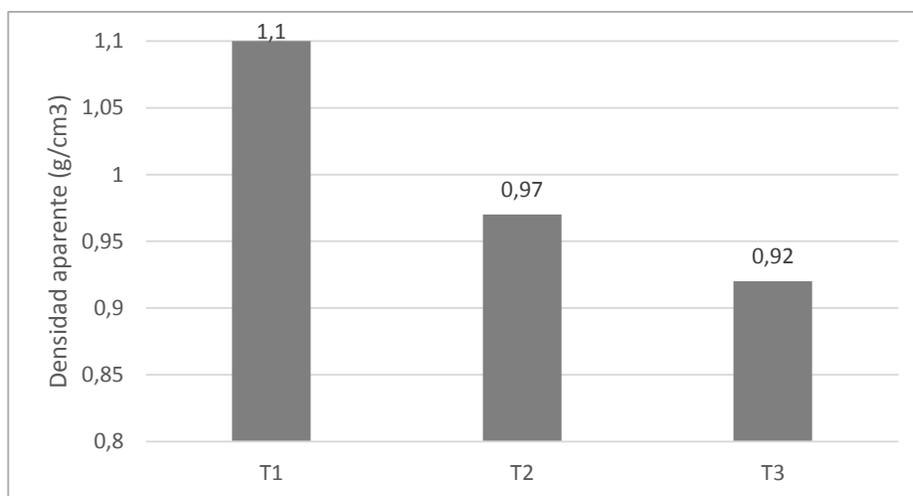


Figura 1: Densidad aparente evaluada en tres usos del suelo en el municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010 – 2011. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas P<0.05 según el test de Tukey

La Da fue mayor de 0-15 cm (1,02 g/cm³), mientras de 15-30 cm disminuyó (0,97g/cm³). Según Alvarado (2001), la Da puede ser alterada debido al pisoteo de animales,

maquinaria agrícola y clima, los estratos más compactados del suelo tienen altas densidades aparentes, que restringen el crecimiento de las raíces e inhiben el

movimiento del aire y el agua a través del suelo; causando un grado de compactación mayor en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en la macroporosidad afectando el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad.

Al respecto Cavazos (1993) y Amézquita y Pinzón (1991) argumentaron que el pisoteo excesivo por los animales en pastoreo, el uso de maquinaria pesada, las perturbaciones cuando los suelos están húmedos aumentan la densidad aparente (D_a) a niveles mayores de $1,0 \text{ g/cm}^3$.

En Colombia, Ramírez, (2002) al estudiar algunas propiedades físicas en suelos de Marinilla (Antioquia), encontró que un suelo de 20 años de barbecho, presentó una densidad aparente de 0.28 g/cm^3 , en cambio los suelos sometidos a 10 y 20 años de labranza, la densidad aparente fue de 0.65 g/cm^3 y 1.05 g/cm^3 respectivamente. Esto indica que ésta propiedad depende del manejo antrópico del recurso suelo.

Porosidad (Pt): En cuanto a porosidad los tratamientos T_3 (60%) y el T_2 (59%) fueron estadísticamente similares ($P < 0.05$), diferenciándose de T_1 con un valor del (54%) (Figura 2).

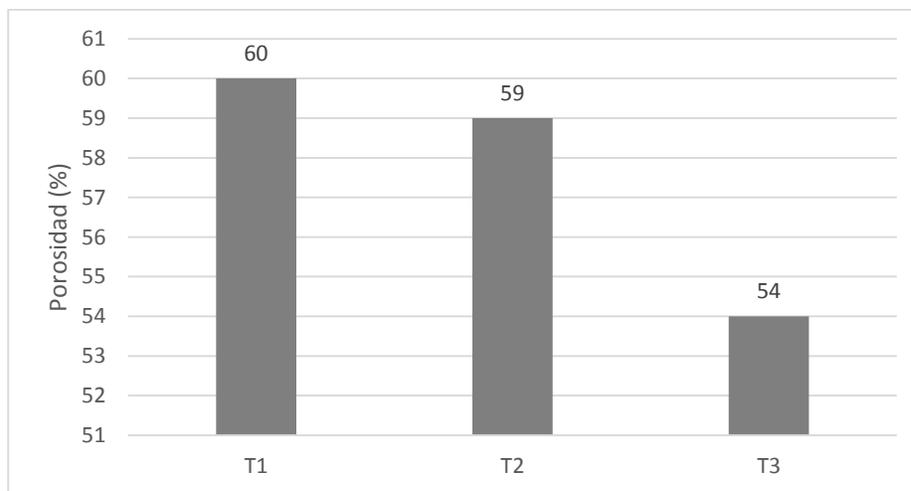


Figura 2. Porosidad evaluada en tres usos del suelo en el municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010 – 2011. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas a una $P < 0.05$ según el test de Tukey.

La alta diversidad de población de especies arbóreas y aporte de hojarasca aumentó la cantidad de macroporos encargados del drenaje y la aireación del suelo coincidiendo con Kaurichev, (1984). En el bosque debido a una mayor cobertura en la zona de raíces se crea una capa más gruesa de MOS ejerciéndose un efecto positivo en la porosidad total del suelo.

Los resultados fueron coincidentes con los de Noguera, (2010) la porosidad total del suelo fue mayor en T_2 sistema de bosque con un valor de 79,33%, mientras que en T_1 pastura de *Pennisetum clandestinum* fue de 49,00%.

Suarez et al., (1986), afirma que en los horizontes orgánicos, la porosidad total se encuentra entre el 44% y 66%, siendo de

media a alta y resulta mejor en suelos con altos contenidos MOS que a su vez determinan una menor densidad aparente.

En suelos derivados de cenizas volcánicas los valores de porosidad total pueden estar entre 70 y 80% (Forsythe, 1975). Los valores bajos encontrados pueden estar relacionados con el deterioro producido por la exagerada preparación de los suelos y con los bajos contenidos de la MOS encontrados.

Distribución del tamaño de agregados del suelo en seco (DMP): Para diámetro medio ponderado (DMP) el mejor tratamiento fue el T₃ (3,16), según el IGAC (1990), el rango de 3,0 a 5,0 indica una estructura estable; diferenciándose estadísticamente del T₂ (2,83), en un rango de 1,5-3,0 moderadamente estable y del T₁ (1,42), en un rango de 0,5 a 1,5 ligeramente estable de (Figura 3).

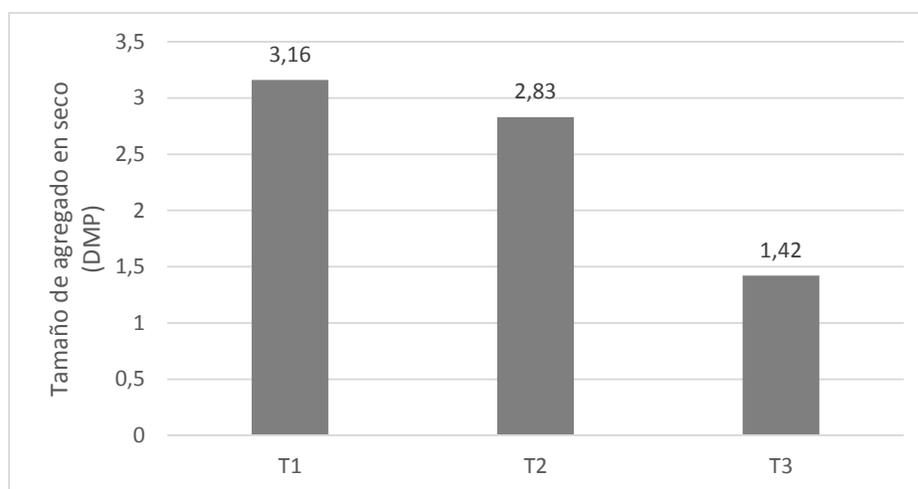


Figura 3. Distribución del tamaño de agregados del suelo en seco evaluada en tres usos del suelo, municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010 – 2011. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.05$ según el test de Tukey

Los bosques y sistemas silvopastoriles aportan mayores contenidos de MO al suelo guardando relación con la estabilidad estructural de éstos ya que posibilitan la formación de agregados de mayor tamaño con mejores condiciones de aireación, infiltración, retención de humedad y penetración radical (Montenegro y Malangón, 1990).

Una mayor estabilidad de los agregados favorece el almacenamiento y la entrada de agua a través del perfil del suelo.

Martínez (2003), determinó que los sistemas de producción con labranza cero presentan mejor estabilidad de agregados que aquellos con labranza convencional, independientemente de los cultivos.

La estabilidad de los agregados y su distribución por tamaño son indicadores de la susceptibilidad del suelo a la degradación estructural (Boix-Fayos *et al.*, 2001). El uso agrícola a mediano y largo plazo altera la estructura, manifestándose en la disminución de la estabilidad (Shepherd *et al.*, 2001) y del

diámetro medio ponderado de los agregados (Dexter, 1988). Ambos parámetros también permiten evaluar el efecto particular de algún sistema de labranza sobre la estructura del suelo (Navarro-Bravo *et al.*, 2000).

Medición de agregados estables en agua (DMP1): La prueba de comparación de

medias, con respecto a DMP fue igual en T₃ (3,04) y T₂ (3,00), según la tabla de interpretación propuesta por el IGAC (1990); son suelos de estructura moderadamente estable, diferenciándose estadísticamente del T₁ con un valor de (1,34), correspondiente a suelos ligeramente estables (IGAC, 1990) (Figura 4).

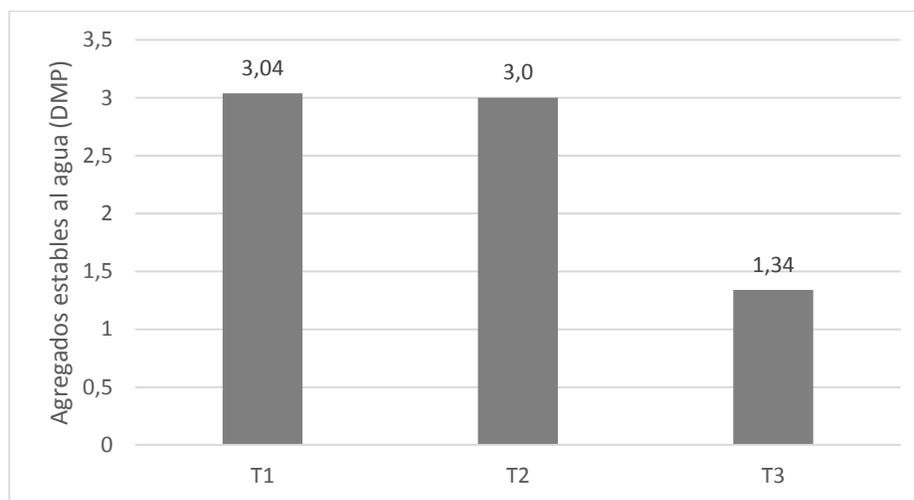


Figura 4. Medición de agregados estables en agua (DMP) en tres usos del suelo, municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010 – 2011. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.05$ según el test de Tukey

Pudo deberse al efecto benéfico de la materia orgánica del suelo (MOS) que constituye una fuerte agente de unión con las partículas minerales del suelo asegurando su estabilidad estructural (Tisdall y Oades 1982).

Al respecto, Aguirre y Ordoñez, (2009), encontraron que el mayor tamaño de agregados en húmedo, se encontró en el T₆ cerca viva multiestrato compuesta de acacia (*Acacia decurrens*), quillotoco (*Tecoma stans*) y mora (*Rubus glaucus*) con un valor de (2,74) y los menores valores se encontraron en T₂ que corresponde a monocultivo de papa (*Solanum tuberosum*) con un valor de (1.86) y el T₄ pradera con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) con un valor de (1.98) de DMP, atribuyeron este último valor a las intensivas

actividades de laboreo realizadas en este sistema, lo cual genera una desagregación notable del suelo (Quiroga *et al.*, 1996).

Según Montenegro (1991), la estructura del suelo tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante en la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces (Valladares y Chavarría, 2015).

Una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen

eficientemente y se obtengan, en consecuencia, mayores rendimientos de producción.

Conductividad hidráulica (K): La conductividad hidráulica fue mayor con el T₂

(3,26 cm/h), y el T₃ (2,51cm/h). Según Jaramillo (2002) se encuentran en un rango de 1,6 – 5,0 cm/h de conductividad hidráulica moderada, diferenciándose estadísticamente del tratamiento T₁(1,11cm/h), en un rango de 0,5- 1,6 cm/h de conductividad hidráulica moderadamente lenta (Figura 5).

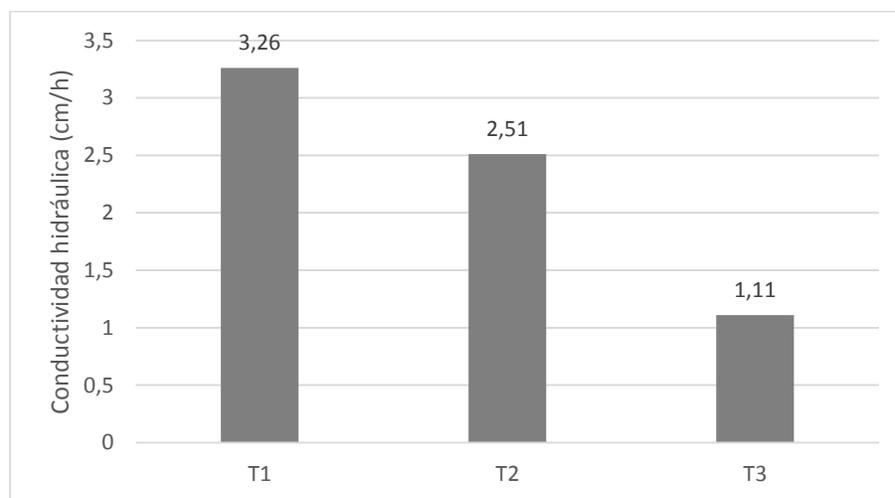


Figura 5. Conductividad hidráulica evaluada en tres usos del suelo en el municipio de Samaniego, Nariño, Colombia, 2010 – 2011. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.05$ según el test de Tukey

Valores más bajos a los reportados por Ramírez, (2002), quien encontró que en el T₁ en un suelo de 20 años de barbecho, presentó una conductividad hidráulica de 13,58 cm/h, seguido del T₂, de 10 años de barbecho con un valor de 13,82 cm/h.

Los resultados obtenidos posiblemente fueron debidos al efecto positivo de la cobertura vegetal en los tratamientos correspondientes al sistema de árboles dispersos en potreros y bosque del T₂ y T₃, al aporte de materia orgánica del suelo (MOS), con la cual se logró una mayor filtración del agua a través del perfil, como soportado también por Pinzón (1993). Una reducción de la conductividad hidráulica (K) será indicación de que la porosidad de los sistemas disminuye.

Conclusiones

Los tratamientos T₂ (árboles dispersos en potreros) y T₃ (bosque), a diferencia de T₁ (pradera) ocasionaron mayores incrementos en la materia orgánica del suelo (MOS), principalmente, los mayores contenidos de materia orgánica (MOS) se presentaron de 0-15 cm de profundidad.

Los tratamientos T₂ (árboles dispersos en potreros) y T₃ (bosque), presentaron mayor conductividad hidráulica, porosidad, distribución de agregados en agua, menos en la medición de agregados estables en seco que fue mayor en T₂, mientras que el T₁ (pradera) no mostro efectos positivos.

Agradecimientos

A Jorge Fernando Navia Estrada Ph.D., Presidente de Tesis por todo los aportes científicos, dedicación y apoyo en el transcurso del proyecto; a Juan Carlos Delgado por su acompañamiento y

orientación en la fase de laboratorio; a los Jurados Jorge Alberto Vélez Lozano y José Manuel Campo, por su apoyo y disposición, y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de esta investigación.

Bibliografía

- Aguirre, D; Ordoñez, Y. 2009. Evaluación de algunas propiedades físicas en suelos con diferentes usos en sistemas productivos del Altiplano de Pasto, Departamento de Nariño. En el Centro de Investigación CORPOICA Obonuco. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de grado. 23 p.
- Ordoñez, Y. 2009. Dinámica y movimiento del agua en suelos con diferentes usos en sistemas productivos del Altiplano del municipio de Pasto departamento de Nariño. En el Centro de Investigación CORPOICA Obonuco. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de grado. 23 p.
- Amezquita, E. Pinzón A, 1991. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales. Vol. 13, No. 2. 21 - 26 p.
- Alvarado A., Bertsch F., Bornemisza E., Cabalceta G., Forsithe W., Henriquez C., Mata R.A., Molina E., Salas R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (andisoles), de Costa Rica. Asociación costarricense de la ciencia del suelo y centro de investigaciones agronómicas/universidad de Costa Rica. San José, 111.p
- Amezquita, E. 2001. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En: Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. 2ed. Bogotá: Editorial Guadalupe. p.137 – 154.
- Arteaga, J. 2009. Evaluación de algunas variables químicas en diferentes sistemas productivos y tiempo de uso en suelos del Altiplano de Nariño, Municipio de Nariño. Tesis de grado. Ingeniería agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nariño. Pasto 24.p
- Boix-Fayos, C., A. Calvos-Cases, A. C. Imeson Y M. D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. Catena 44: 47-67.
- Camero, A. 1996. Desarrollo de sistemas silvopastoriles y sus perspectivas en la producción de carne y leche en el trópico. En: alternativas para mejorar la sostenibilidad de la ganadería Colombiana. Bogotá: CORPOICA, 1996. 180p.
- Cardona, A ; Sadeghian, J. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. Revista cenicafe 56(4): 348-364.
- Cavazos, T.; Rodríguez, O. 1992. Manual de Prácticas de Física de Suelos. México: Trillas. 99 p.

- CIPAV. 1997. (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria) Efectos de la transformación de agro ecosistemas cafeteros sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en el departamento del Quindío-Colombia. CIPAV: Cali.
- Corponariño, 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional. 2002-2012.
- Cortes, F.; Viveros, M. 1977. Guías de laboratorio para análisis de suelos. Universidad de Nariño, facultad de ciencias agrícolas. Pasto, Colombia. 108p.
- Darcy, H. 1856. Et les écoulements de fluides en milieu poreux. Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP, Vol. 61, No. 5. 599 - 609p.
- Dexter, A. R. 1988. Advances in the characterization of soil structure. Soil Tillage Res. 11: 199-238.
- Duran, Y. 2005. Riegos y drenajes. Bogotá: UNAD. 197p.
- FAO. 2010. Ganadería y deforestación. Políticas Pecuarias 03. Roma.
- Forsythe, W. 1975. Manual de laboratorio de física de suelos. Instituto Interamericano en Cooperación para la Agricultura. (IICA). Costa Rica. 212 p.
- Fuentes, J. 1999. Propiedades generales de los suelos. Santiago: Universidad de Chile. 27 p.
- García, Bernardo. 1990. Cambios de algunas características químicas de los suelos de la zona Andina de Nariño a través del periodo de 1964 -1998. En: informes anuales de actividades, ICA Nariño (1990); P. 8-11
- Giraldo, L. 1996. Evaluación del potencial multipropósito en dos especies de Acacia para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en clima frío. P. 9-12. En: Memoria V. Congreso Colombiano de Ciencias Pecuarias.
- Gómez, L.; Velásquez, H. 1997. Manejo ecológico de suelos. Conceptos, experiencias y técnicas. Lima: Editorial Grafica. 228 p.
- González, S. 2003. La agricultura de conservación disminuye la compactación de los suelos. Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos.
- Harvey, C.; Haber, W. A.; SOLANO, R.; MEJIAS, F. 1999. Árboles remanentes en potreros de Costa Rica. Agroforestería en las Américas (CATIE). Vol.6 P.19-22.
- IGAC. 1990-2004. (Instituto geográfico Agustín Codazzi). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá. 502 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2004. Cadena de Comercialización de Leche. Nicaragua. 30p.
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: UNAL. 614p.
- Kaurichev, I. 1984. Prácticas de Edafología 1ª. Edición en Español. Ed. Mier. Moscú. 280 p.
- Kemper, W.D. And R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. P. 425-442. In: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis: Part I, physical and mineralogical

- methods. American Society of Agronomy, madison, WI.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627
- Malagón, D. 1974. Propiedades Físicas de los Suelos. Bogotá: IGAC. 343p.
- Martín B.; Zerpa, G.; Sosa, O.; Denoia, J. 1995.1998. Efecto del tránsito animal sobre las propiedades físicas del suelo y sobre la velocidad de infiltración. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. V. Carlos Paz. P 11-13.
- Martínez, E. 2003. Evolución de algunas propiedades físicas y químicas de un Mollisol asociadas a manejo en cero labranza. Santiago de Chile: Universidad de Chile. 6p.
- Méndez G; Y Soto G. 2003. Taller de abonos orgánicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (CATIE). Costa Rica.
- Montagnini, F. 1991. 1993. Litter erfall, litter decomposition, and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems*. p.39-63.
- Montenegro, H; Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín.
- Moro, E. 1992. Efecto de las labranzas y rotaciones sobre la degradación física de suelos en diferentes sistemas productivos de la provincia del Chaco. *Corrientes: UNNE*. 4p.
- Navarro, A., B. Figuero A., 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra* 18: 61-69.
- Noguera, M. 2010. Evaluación de algunas propiedades físicas en suelos con diferentes usos en el municipio del Tambo departamento de Nariño. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de grado. 23 p.
- OHEP, C. 1994. Influencia de la labranza en algunas características físicas en un suelo de la serie Uribeque del Yaracuy Medio y sus incidencias sobre el crecimiento y producción 23 del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Trabajo de Ascenso. UCLA, Decanato de Agronomía. 105 p.
- Pinzón, A. Y Amezcuita. 1991. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas tropicales*. 13 (2): 21-26.
- Pinzón, P. A. 1993. Propiedades físicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas. *Suelos ecuatoriales* Vol. 23 No.1.
- Pomareda, C. 2003. Descripción del sector ganadero en Nicaragua. IICA. 35 p.
- Quiroga, A., Lejarraga, B., Fernández, R., FUNARO, D. 2005. Aspectos del manejo del agua en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. *Indicadores de calidad física de suelos. Boletín técnico* N° 4: 19 – 26
- Quiroga, A., Lejarraga, B., Fernández, R., FUNARO, D. 2005. Aspectos del manejo del agua en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. *Indicadores de calidad física de suelos. Boletín técnico* N° 4: 19 – 26
- Ramírez, R. 2002. Cambios en la conductividad hidráulica y su relación con otras variables físicas de un andisol, bajo diferentes sistemas de manejo en el

- municipio de Marinilla Antioquia. Medellín: UNAL. 24 p.
- Rucks, L. 2004. Propiedades Físicas del Suelo. Montevideo: Universidad de la República. 2004. 68p.
- Ruíz, A. 1994. Análisis de los Sistemas de Producción Agropecuarios en Matiguás, Matagalpa. Nitlapán-UCA, Nic. 106 p.
- Sadeghian S, Rivera J. M. Y Gómez M. E Investigador manejo sostenible de suelos - Fundación CIPAV Planeación Ambiental Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ Investigadora Sistemas Agroforestales - Fundación CIPAV maria@cipav.org.co
- Sánchez, P. Castilla, C. Y Alegre, J. 1989. Efecto del pastoreo sobre una pradera. 28p.
- Semarnat. (2000). Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental, México D.F. 189p
- Shepherd, T. G., S. Saggar, R.H.Newman, C.W. Ross Y J. L. Dando. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. Aust. J. Soil Res. 39: 465-489.
- Sadeghian, S. 2000. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Cali. CIPAV.
- Sociedad Colombiana De La Ciencia Del Suelo. Comité Regional Del Valle Del Cauca. 1998. Actualidad y Futuro de los Micronutrientes en la Agricultura. Editor Francisco Silva Mojica. Santafé de Bogotá. 187 p.
- Suarez, S., et al 1986. Caracterización física, uso y manejo y conservación de algunos suelos de origen ígneo, sedimentario y metamórfico en la zona cafetera del departamento del Huila. (CENICAFE) (Colombia) 37 (2): 41-60p.g
- Tisdal, J. M. Y J. M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33:141-163.
- Unesco 1980. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura) / PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) / FAO (Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación). Ecosistemas de los bosques tropicales. Capítulo 5. Organización: 126-162pp. Capítulo 10. Producción primaria bruta y neta, parámetros de crecimiento: UNESCO-CIFCA. Madrid. 265-282pp.
- Unigarro, A.; Carreño, M. 2005. Métodos Químicos para el análisis de suelos. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. 72 p.
- Valladares D, y Chavarría B.A. 2015. Bucardo La estabilidad estructural del suelo y turbidez del agua en sistemas agroforestales bajo diferentes niveles de insumo en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), Masatepe, Nicaragua 2015. Trabajo de Grado de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. 49 p.
- Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of the physical nature of erosion loss. Jour. Amer. Soc. Agron. 28:337-351.

Fecha Recepción: 26 Julio de 2015

Fecha Aceptación: 6 Septiembre 2016