

CAMBIOS EN PROPIEDADES FÍSICAS DE UN VERTIC HAPLUSTALF POR APLICACIÓN DE ABONO ORGÁNICO FERMENTADO (AOF)

CHANGES IN PHYSICAL CHARACTERISTICS OF A VERTIC HAPLUSTALF BASED ON THE APPLICATION OF FERMENTED ORGANIC FERTILIZERS (FOF)

MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM VERTIC HAPLUSTALF CAUSADOS COM A APLICAÇÃO DE UM ADUBO ORGÂNICO FERMENTADO (AOF)

JOSÉ FRANCISCO GARCÍA M.^{1*}, LUZ STELLA JARAMILLO G.², JOSÉ ALBERTO CARRILLO CH.³

RESUMEN

La producción agrícola provoca en los suelos impactos que alteran sus condiciones físicas, químicas y biológicas; sin embargo la literatura reporta recuperación en las características edáficas al agregar materia orgánica, devolviéndole al suelo su capacidad productiva; esta razón motivó un proyecto para evaluar los cambios ocurridos en la estabilidad estructural, retención de humedad, humedad aprovechable, densidad aparente y consistencia respecto a la aplicación de abonos orgánicos fermentados (AOF), durante dos y ocho años en un "haplustalfvértico" con cultivos de hortalizas, leguminosas, tubérculos y gramíneas. Teniendo en cuenta que este suelo durante más de 50 años estuvo plantado en cultivos de

Recibido para evaluación: 19 de junio de 2012. **Aprobado para publicación:** 28 de abril de 2014

- 1 Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Abonos Orgánicos Fermentados (AOF). Tunja, Colombia. Ph.D en Biología vegetal. Università Degli Studi di Parma. Italia.
- 2 Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Abonos Orgánicos Fermentados (AOF). Tunja, Colombia. Ms.C. (c) en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- 3 Universidad Santo Tomás, Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Abonos Orgánicos Fermentados (AOF). Tunja, Colombia. Especialista en Gerencia Educacional.

Correspondencia: jfgm29@hotmail.com

papa en rotación con cebada en agricultura convencional y las adiciones de materia orgánica solo se hacían con incorporación de rastrojo. Los resultados mostraron que la incorporación de ésta favorece al suelo en la mejora de las condiciones físicas evaluadas, en especial cuando se hace asiduamente.

ABSTRACT

The agricultural production causes impacts on the soil which alters its physical, chemical and biological characteristics. However, literature tells us about the recuperation of the soil's characteristics when organic matter is added. In fact, organic matter restores the soil's productive capacity. This reason motivated this project, which evaluated the changes occurred in the structural stability, retention of humidity, usable humidity, bulk density and consistency based on the application of fermented organic fertilizers (AOF) during two and eight years in a "vertichaplustalf". This evaluation was done with crops of vegetables, legumes, tubers and grasses. It is important to mention that the soil used for this experiment was during more than 50 years grown with potatoes in rotation with barley and this was done with the use of traditional agricultural techniques. During this time, the addition of organic matter was only used through stubbles. The results showed that the incorporation of organic fertilizers helped the soil, regarding its physical characteristics evaluated. The benefits of the use of organic fertilizers increase when it is done consistently.

RESUMO

A produção agrícola ocasiona nos solos impactos que alteram as suas condições físicas, químicas e biológicas; porém a literatura reporta recuperação nas características edáficas ao agregar matéria orgânica, devolvendo-lhe ao solo a sua capacidade produtiva; por esta razão desenvolveu-se um projeto para avaliar as mudanças ocorridas na estabilidade estrutural, retenção de umidade, umidade aproveitável, densidade aparente e consistência respeito à aplicação de adubos orgânicos fermentados (AOF) durante dois a oito anos em um "haplustalf vértico" com cultivos de hortaliças, leguminosas, tubérculos, e gramíneas. Deve-se levar em conta que este solo esteve sendo cultivado com batata em rotação com cevada em agricultura convencional há mais de 50 anos e as adições de matéria orgânica faziam-se com a incorporação de palha. Os resultados mostraram que a incorporação da matéria orgânica, favorece o solo melhorando as condições físicas avaliadas, especialmente quando se faz constantemente.

INTRODUCCIÓN

Un suelo agrícola es la interacción de propiedades físicas, químicas y biológicas que le imprimen sus condiciones de uso y manejo, actividad relacionada con la producción; la estructura, retención de humedad, densidad y plasticidad, han sido llamadas la clave de la productividad del suelo; estableciendo una relación entre suelos-agua-planta- atmosfera así como

PALABRAS CLAVE:

Consistencia, Densidad, Estabilidad estructural, Retención de humedad, Textura.

KEY WORDS:

Consistency, Density, Retention of humidity, Structural stability, Texture.

PALAVRAS-CHAVE:

Consistência, Densidade, Estabilidade estrutural, Retenção de umidade, Textura.

con las características químicas [1, 2]; la intervención permanente con sistemas de labranza convencional en rotación de cultivos suponen un cambio en las condiciones del mismo, generado por los implementos utilizados, presencia de nuevas raíces, adición de fertilizantes y riego.

Esta situación condujo al cuestionamiento de cuál es el comportamiento de las condiciones físicas del suelo en el tiempo, cuando se aplica materia orgánica en rotación de cultivos.

El suelo es un sistema complejo; consiste de componentes sólidos (minerales y orgánicos), irregularmente fragmentados, variadamente asociados y arreglados en un intrincado y complicado patrón geométrico. Algunos de los materiales sólidos son minerales cristalinos, mientras que otros son coloides o materiales amorfos que afectan su comportamiento [3, 4]; estos ejercen atracción formando nuevos compuestos en virtud de sus cargas eléctricas; además estas sustancias son susceptibles a la actividad enzimática generada por la presencia de microorganismos, que actúan sobre las mismas en procesos de solubilización, mineralización o síntesis.

La estructura del suelo definida como el arreglo de partículas y espacio poroso entre ellas, también puede definirse en términos de distribución del tamaño de poros, los cuales determinan la capacidad del suelo para transmitir y retener agua e intervienen en los procesos de interceptación, flujo de masa y difusión para el suministro de nutrientes [2]. Una proporción alta de microagregados se puede considerar como indicador de degradación estructural del suelo [1, 2] lo cual deduce una relación entre dispersión del suelo, infiltración, erosión y las modificaciones en la estructura por efecto del tipo de uso del suelo, una buena estructura debe contar con alta proporción de macroagregados (2-10 mm de diámetro) estables y buena proporción de poros con diámetro mayor a $75 \mu\text{m}$ para permitir desagüe y aireación durante la temporada lluviosa, y al mismo tiempo tener un volumen adecuado de mesoporos para asegurar reservas de agua para periodos de sequía [5].

En un momento dado, es más importante conocer la estabilidad estructural que el estado estructural puesto que la primera es dinámica y cambia con el agua y las prácticas de uso del suelo [5].

La dinámica del suelo causada por el hinchamiento o por el crecimiento radical, puede conducir a la obs-

trucción de los poros existentes y hacerlos inaccesibles para los microorganismos. La materia orgánica está íntimamente adherida a las arcillas donde se encuentra protegida en poros de menos de $1 \mu\text{m}$ de diámetro donde los microorganismos tienen acceso a ella [3, 5].

De igual manera el tiempo de uso del suelo en labores agrícolas incide directamente en: la infiltración, escorrentía y pérdida del suelo, porque de acuerdo a lo encontrado [4], en un suelo no intervenido el agua filtra tres veces más que en un suelo intervenido y la escorrentía llega a ser hasta 40 veces mayor en el suelo cultivado, generando una pérdida del suelo superior hasta de 1 cm de profundidad /Ha/año. La cobertura en pasto tiene un comportamiento similar a un suelo no intervenido aunque la densidad aparente tenga un valor más alto que el suelo intervenido como ocurre en el tratamiento 2.

La fase sólida del suelo interactúa con los fluidos, el agua y el aire, que ocupan los poros de éste. El sistema, como un todo, está difícilmente en estado de equilibrio ya que continuamente sufre alteraciones por fenómenos de expansión y contracción, humedecimiento y secado, dispersión y floculación, compactación y agregación, por efecto de iones intercambiables, sales precipitadas y solubles, etc. Una de las situaciones de esa dinámica de cambio está ligada a las actividades agrícolas, adición de materia orgánica, sistema radicular y comportamiento climático; porque precipitaciones, vientos, lluvia, radiación solar y temperatura, ejercen influencia directa sobre el suelo, microorganismos y vegetales [3, 5].

En este sentido [6] demostraron que la actividad biológica inducida por la adición de materia orgánica y cobertura de leguminosas no afecta la estabilidad estructural del suelo; al igual que la rotación de cultivos con labranza mínima.

En la formación de agregados estables a la acción del agua, se necesitan materia orgánica y microorganismos. Estos producen jalea bacteriana por la descomposición de material celulósico, los ácidos poliurónicos, que "pegan" los agregados formando grumos. Las bacterias más eficientes son los *Cytophaga* y *Sporocytophaga*, bacterias aeróbicas, que cuando están bien nutridas pueden producir grandes cantidades de sustancias que operan como adherentes entre partícula; pero además, se necesita encontrar agregados formados por atracción electroquímica. La mejora de

la estabilidad está relacionada con la resistencia que ofrece el suelo frente a la degradación de diversos agentes, fundamentalmente el agua y el viento [8]. De otra parte, la consistencia del suelo resulta básicamente de dos fuerzas: la cohesión (atracción molecular) y la adhesión (tensión superficial), así como de compuestos orgánicos, óxidos de hierro y aluminio y los carbonatos de calcio que hacen posible la formación de agregados [3] cuya estabilidad estructural depende del agente cementante o la atracción electrostática.

Los trabajos realizados [9] en la altillanura colombiana demostraron que un 63% de la materia orgánica fue destruida por las rastras en el suelo de textura liviana, lo que significó pérdida de macroagregados y destrucción de la estructura. En consecuencia, el uso continuo de rastras además de ocasionar pérdida de materia orgánica y destruir los macroagregados del suelo, masificando su estructura, no permite la infiltración de agua en el suelo porque aumenta la cantidad de agregados entre 1 y 4 mm, que obstruyen los poros.

El cambio en las propiedades físicas por la adición de abonos, genera modificaciones químicas y biológicas al reaccionar la materia orgánica con los minerales del suelo constituyendo en conjunto los fundamentos de las ciencias del suelo: fertilidad, clasificación, conservación y manejo [4].

Los cambios ocurridos en la Estabilidad Estructural (EE), Retención de Humedad (RH), Densidad Aparente (DA) Humedad Aprovechable (HA, Diámetro de Partículas (DP) y Consistencia (C), respecto a la aplicación de abonos orgánicos fermentados (AOF), durante dos y ocho años en un "haplustalfvértico" teniendo en cuenta que las adiciones de materia orgánica en un proceso avanzado de descomposición ejercen una acción más directa sobre los habitantes del suelo así como una interacción con la fracción inorgánica, formando por ejemplo nuevos agregados a partir de la unión de arcillas con moléculas orgánicas mediante puentes de calcio, hierro y magnesio principalmente, o posiblemente con boro, como ocurre en la pared celular vegetal.

MÉTODO

El ensayo se realizó en el Centro Experimental Agroambiental de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Municipio de Soracá, vereda Otro Lado, localizado en la zona centro del departamento de Boyacá a 5° 30' de latitud Norte y 73° de longitud Oeste de Greenwich,

a una altitud de 2960 msnm, temperatura promedio de 13°C, régimen bimodal de precipitación con 900 mm/año durante los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, humedad relativa del 75% [11].

Métodos de campo

De acuerdo con [14], los suelos donde se realizó el ensayo corresponden a un "haplustalfvértico"; el horizonte A presenta 20 cm de espesor con color pardo grisáceo muy oscuro y de textura franco arcillosa, suelo bien drenado, de reacción muy fuerte a moderadamente ácida, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases moderada a alta. Las muestras se tomaron en lotes con una pendiente del 10%; su uso hasta el año 2000 correspondía a cultivos de papa en rotación con cebada, realizando labores de labranza convencional con arado de disco, rastrillo californiano y retabator, incorporación de rastrojo, fertilización con abono compuesto, control de plagas y enfermedades con productos organoclorados y organofosforados, así como el control químico de arvenses. El ensayo correspondió a los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1 (T1). Incorporación de abono orgánico durante dos años, 2006 a 2008, en una proporción de 5 Kg/m² cada tres meses, en cultivo de hortalizas.

Tratamiento 2 (T2). Pradera de kikuyo (*Penisetum clandestinum* L.) y trébol (*Trifolium ripens* L.), sin manejo ni fertilización durante ocho años.

Tratamiento 3 (T3). Adición de abono orgánico mineral fermentado sólido (AOF) durante ocho años cada seis meses, en una proporción de cinco Kg/m² en cultivos de leguminosas gramíneas y hortalizas.

Tratamiento 4 (T4). Cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) con manejo de agricultura convencional.

Las muestras fueron tomadas entre 0 y 20 cm. y transportadas al laboratorio sin disturbar; por cada tratamiento se hicieron 3 repeticiones tomando por cada repetición 10 submuestras.

Métodos de laboratorio

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de física de suelos del IGAC, utilizando las siguientes metodologías: Retención de Humedad (RH), Olla a presión y columna hidrostática, Densidad Aparente (DA) Método del terrón parafinado, Consistencia (C) Límites

de Atterberg, Diámetro de Partícula (DP) Tamizado en seco y húmedo (método Yoder).

RESULTADOS

Los datos estuvieron sujetos a la prueba de normalidad de ShapiroWilk (SW) con un valor W calculado superior al 0,753; lo que permite asegurar que los datos son normales, dado que todos están por encima de éste. Además se realizó un análisis de gradiente para calcular la relación directa entre variables.

Igualmente los resultados fueron sometidos a un análisis de regresión para estimar las relaciones entre variables [10], [11], de cada uno de los tratamientos, el Cuadro 1 muestra el cambio de la HA y de el RH con respecto a DP, EE y RH.

La mejor HA corresponde al T1, dado que es el tratamiento donde se agrega materia orgánica con mayor frecuencia y ésta permite almacenar agua; por la misma razón el T4 donde se realiza labranza convencional y no hay adición de materia orgánica muestra una HA baja, porque cuando el rastrojo se incorpora se acelera el proceso de descomposición de la materia orgánica por efecto de la humedad del suelo, intensificándose la actividad microbiana y enzimática.

El valor negativo del T2 puede obedecer a la intervención de las raíces del kikuyo (*Penisetum clandestinum* L.) en la formación de agregados que pueden aumentar el tamaño de los poros mejorando la infiltración, inclusive por debajo de los 20 cm de profundidad de acuerdo con los resultados encontrados en [14].

En la medida que se incrementa el estado de agregación, merma el valor de la RH en el T3; mientras que para T1, T2 y T4 el análisis deja ver que cuando aumenta la EE aumenta la RH en 1,01, 1,064 y 0,314 respectivamente, como lo indica el cuadro 1; porque

Cuadro 1. Constante de relación entre las variables.

Relación variables	T1	T2	T3	T4
HA/DP	3,78 mm	4,006 mm	1,777 mm	0,779 mm
RH a 3 atm/EE	1,01	1,064	-0,483	0,314
HA/RH	0,731	0,847	1,05	0,675

para T1 la adición más frecuente de materia orgánica ayuda en la formación de agregados a partir de las moléculas orgánicas, aunque estos son poco estables dado que estas moléculas son hidrosolubles, sin embargo, debido a las propiedades hidromórficas de los constituyentes orgánicos y la estructura del suelo, que puede favorecer aire encapsulado dentro de los mismos, disminuyendo la entrada de agua a los agregados se favorece esta condición [15]. Contrario a esto en T4, la estabilidad es consecuencia de la condición natural del suelo que forma peds estables a pesar del laboreo, dados los procesos de formación del suelo y el material parental de donde provienen [16].

El T2 presenta una disminución en la humedad aprovechable cuando se aumenta el DP, porque se forman poros más grandes y hay mayor infiltración, aunque la densidad aparente es similar al T1. En los otros tratamientos se presenta una relación de aumento en la humedad aprovechable con relación al diámetro de partícula donde la mejor HA la presenta el T1.

Cuando T1 y T2 tengan un diámetro de 3,329 mm se obtendrá un aprovechamiento de la humedad de 5,745. Pero si el diámetro es de 4,763 mm, se obtendrá un aprovechamiento de la humedad nulo en T2, y el mejor aprovechamiento lo presentará el T1 con una HA de 11,164, porque la materia orgánica se hidrata reteniendo humedad.

T4 no presenta RH si su EE es inferior a 39,55 mm, este es el tratamiento que menores valores de EE para tener una retención de humedad mínima, dado que tiene la mayor homogeneidad en el diámetro de sus par-

Figura 1. Estimación con Error Absoluto (E.A.) respecto a las variables HA y DP.

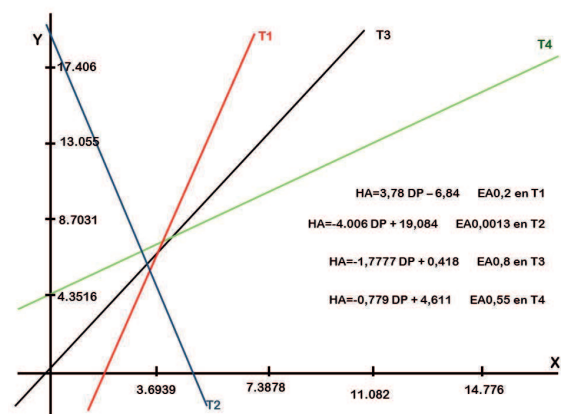
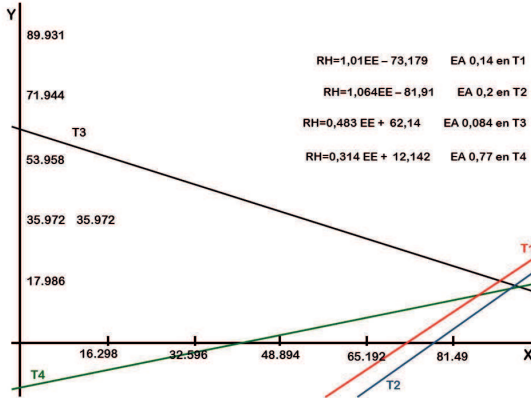


Figura 2. Estimación con Error Absoluto (E.A.) respecto a las variables RH y EE.



tículas, T1 y T2 necesitan entre 65,192 mm y 81,49 mm para tener un mínimo de retención de humedad, dado que el mayor porcentaje de agregados está entre 6,3 y 4 mm y 4 a 2 mm formados por las moléculas orgánicas que obran como pegantes, las de T1 provenientes de los AOF y las de T2 de los exudados de las raíces de la pradera. Un resultado similar encontrado en otro estudio [15], muestra la tendencia a la baja EE en los sistemas que incluyen adición de materia orgánica (gallinaza y plantas de cobertura nativa).

Los mismos autores encontraron que la pradera muestra mayor estabilidad que la rotación de cultivos, que implica periodos de preparación del suelo generando rompimiento de raíces e hifas de hongos. La biomasa fúngica y microbiana desarrollan un papel importante en el mantenimiento de la estabilidad de los agregados asociada a la simbiosis mutualista entre gramíneas y hongos micorrizicos, porque estos con sus hifas se unen a partículas del suelo y generan zonas de contacto, sobre todo a nivel de la rizosfera, donde secretan polisacáridos extracelulares que se asocian en diferentes puntos a las mismas [15].

El T3 no presentará aumento en la retención de humedad si su EE es de 128,65, y aunque recibe AOF, el mayor porcentaje de sus agregados está entre 1 a 0,425 mm, lo que puede estar incidiendo en la baja RH; por el contrario como se observa T1 es el tratamiento que presenta la mejor RH con 72.553 para un valor nulo de la EE.

Si la EE en T1 y en T3 es de 90,702 se obtendrá un valor en la retención de humedad de 18,33 y en T2 y T4 si se obtiene un valor de 92,65 en EE entonces

obtendremos un valor de 16,673 en la retención de la humedad en ambos tratamientos.

De otra parte como se observa en la grafica 3 al aumentar la RH, aumenta la HA en 0,731; 0,847; 1,05 y 0,675 en cada tratamiento respectivamente.

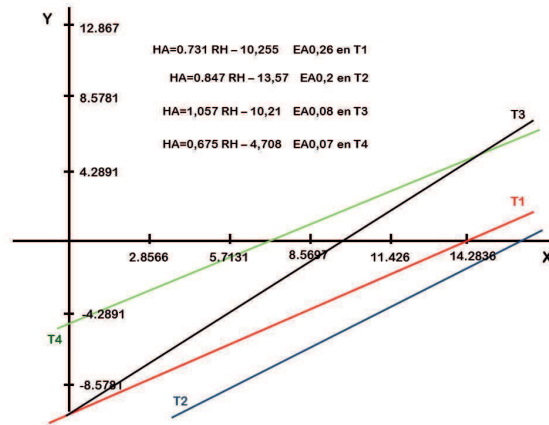
El T4 tendrá el mejor aprovechamiento de humedad si su retención de humedad se encuentra entre 6,974 hasta 14,67; después de este valor el mejor aprovechamiento lo hace T3, donde el aprovechamiento de humedad de T3 y T4 coinciden con un valor de 5,195, por otra parte, el menor aprovechamiento de humedad lo tiene T2 ya que necesita valores en la retención de la humedad superiores a 16,021 para que la HA no sea nula.

El análisis de gradientes [17] permite observar que en general entre los tratamientos si el DP es de 0,31 se tendrá un valor promedio de RH de 0,492, indicando una relación directa como se observa en el Cuadro 2. También se deduce que si la EE es de 1,248, en promedio se obtendrá una RH de 0,471, en consecuencia si el estado de agregación es muy alto la RH, tiende a ser la tercera parte de este valor. Finalmente, si la RH es de 1,156, se tendrá una HA aproximada a 0,919 donde además se puede suponer que con este valor de HA, la EE va a tener un rango de 0,41 con una desviación estándar de 1,49.

Análisis descriptivo

Se realiza por tratamiento para comprobar la homogeneidad de cada uno de ellos con respecto a sus variables, como se muestra en los Cuadros 3, 4, 5 y 6.

Figura 3. Estimación con Error Absoluto (E.A.) respecto a las variables HA y RH.



Cuadro 2. Análisis de gradientes HA/DP, RH/EE, HA/RH.

RELACIÓN	HA → DP	RH → EE	HA → RH
T1	0,617 ▲ 0,245 ▲	1,192 ▲ 1,177 ▲	0,617 ▲ 1,192 ▲
T2	0,855 ▼ 0,213 ▲	0,945 ▲ 0,842 ▲	0,855 ▲ 0,945 ▲
T3	1,445 ▲ 0,551 ▲	1,371 ▼ 1,252 ▲	1,445 ▲ 1,371 ▲
T4	0,762 ▲ 0,234 ▲	1,119 ▲ 1,721 ▲	0,762 ▲ 1,119 ▲

Cuadro 3. Descripción de variables T1.

Análisis descriptivo T1	RH (%)	HA (%)	DPP (mm)	Densidad (g/cm ³)	EE (mm)
Media	21,353	5,3667	3,23	1,26	93,553
Varianza	1,423	0,925	0,6	0,03	1,388
Rango	2,.	1,92	0,46	0,1	2,12
Mínimos	20,63	4,44	3,05	1,2	92,79
Máximos	22,73	6,36	3,51	1,3	94,91

Cuadro 4. Descripción de variables T2.

Análisis descriptivo T2	RH (%)	HA (%)	DP (mm)	Densidad (g/cm ³)	EE (mmm)
Media	21,353	5,3667	3,23	1,26	93,553
Varianza	1,423	0,925	0,6	0,03	1,388
Rango	2,1	1,92	0,46	0,1	2,12
Mínimos	20,3	4,44	3,05	1,2	92,79
Máximos	22,73	6,36	3,51	1,3	94,91

Cuadro 5. Descripción de variables T3.

Análisis descriptivo T3	RH (%)	HA (%)	DP (mm)	Densidad (g/cm ³)	EE (mmm)
Media	21,353	5,3667	3,23	1,26	93,553
Varianza	1,423	0,925	0,6	0,03	1,388
Rango	2,1	1,92	0,46	0,1	2,12
Mínimos	20,63	4,44	3,05	1,2	92,79
Máximos	22,73	6,36	3,51	1,3	94,91

Cuadro 6. Descripción de variables T4.

Análisis descriptivo T4	RH (%)	HA (%)	DP (mm)	Densidad (g/cm ³)	EE (mmm)
Media	17,25	6,946	2,996	1,363	94,21
Varianza	1,254	0,582	0,055	0,029	2,964
Rango	2,19	1,52	0,46	0,32	3,38
Mínimos	16,02	6,5	2,74	1,7	92,71
Máximos	18,21	7,67	3,2	1,49	96,09

Cuadro 7. Descripción de densidad aparente de cada tratamiento.

DA	MEDIA	DESV. ESTAN- DAR	RANGO	MÁX.	MÍN.
T1	1,26	0,052	0,1	1,3	1,2
T2	1,29	0,105	0,21	1,39	1,18
T3	1,42	0,305	0,06	1,46	1,4
T4	1,36	0,171	0,32	1,49	1,17

Observando la variación de los datos y el rango en cada una de las variables, se evidencia que el T1 presenta mejor homogeneidad en cada una de ellas, mostrando mejor comportamiento, dado que las adiciones de materia orgánica son más frecuentes, en consecuencia existe una renovación permanente de la población microbiana por la disponibilidad de alimento, que incide en permanente disponibilidad de moléculas orgánicas que pueden obrar como pegantes o jaleas bacterianas y además pueden participar en la formación de agregados por la presencia de cargas negativas, cuando estas moléculas se desprotonan.

La densidad presentó homogeneidad en todos los tratamientos, pero T1 presentó la desviación estándar más cercana a cero (0) lo que nos lleva a suponer que es el tratamiento que presenta mejor distribución de sus datos con respecto a esta variable.

No se realizó un análisis debido a su comportamiento semejante en todos los tratamientos. De acuerdo con el IGAC la densidad aparente de este "haplústalvético" muestra un promedio de 1,21 g/cm³ debido a los contenidos de materia orgánica y la influencia de cenizas volcánicas; además la labranza tiende a disminuir temporalmente la densidad aparente y aumentar la porosidad total del suelo de la capa arable. El comportamiento de esta variable fue similar a la de [18], donde la variación de la densidad no muestra diferencia significativa en tres tratamientos para el horizonte superficial entre 0–15 cm, en dos ciclos seguidos de cultivo de maíz con cobertura y siembra directa, teniendo en cuenta que la densidad mantuvo valores entre 1,47–1,63 mg/m³ sin mostrar mayor efecto después de la preparación del terreno, floración y después de la cosecha.

CONCLUSIONES

Los resultados encontrados indican que los valores más bajos en la relación de variables son los del tratamiento donde únicamente se aplicó rastrojo como

fuerza de materia orgánica, situación que lleva al suelo a un proceso de deterioro en el tiempo.

La adición de materia orgánica interviene en la formación de agregados porque en el proceso de mineralización que ocurre en el suelo se liberan moléculas orgánicas que pueden obrar como pegantes hidrosolubles que son poco estables como se observa en el T3 donde se hicieron aplicaciones cada 6 meses a razón de 5 kg/m², durante 8 años mientras que en el T1 se realizaron aplicaciones cada 4 meses durante 2 años.

El T1 presenta el mejor comportamiento respecto a las adiciones de materia orgánica, teniendo en cuenta que muestra mayor porcentaje de agregados (entre 6.3 y 4 mm), lo que permite mayor porcentaje de RH, así mismo tiene el menor valor de DA favoreciendo propiedades físicas como infiltración, retención de humedad y permeabilidad; de esta manera, las adiciones de materia orgánica deben hacerse más frecuentemente.

REFERENCIAS

- [1] VALENZUELA, I. y TORRENTE, A. Ciencia del suelo principios básicos. Física de suelos. 2 ed. Bogotá (Colombia): Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2013, p. 143-207.
- [2] VOLVERÁS, B. AMÉZQUITA, E. Y TÁFUR, H. Efecto del tiempo de uso en las condiciones físicas del suelo andino en el departamento de Nariño, Colombia. [Online]. 2011. Disponible: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/9741 [Citado 11 de agosto de 2011]
- [3] MALAGÓN, D. y MONTENEGRO, H. Propiedades físicas de los suelos. 1 ed. Bogotá (Colombia): Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1990, 811 p.
- [4] ZAPATA, R. y OSORIO, N. Ciencia del suelo principios básicos. La materia orgánica del suelo. 2 ed. Bogotá (Colombia): Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2013, p. 361-388.

- [5] VOLVERÁS, B. y AMÉZQUITA, E. Estabilidad estructural bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia [online]. 2009. Disponible: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/9741. [Citado 20 de Agosto de 2009].
- [6] CASTRO, H. y GÓMEZ, I. Ciencia del suelo principios básicos. Fertilidad de suelos y fertilizantes. 2 ed. Bogotá (Colombia): Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2013. p. 217-298.
- [7] CASTILLO, F., NAVIA, J. y MENJIVAR, J. Estimación de la estabilidad estructural de dos suelos al sur de Colombia con diferentes tipos de manejo. *Acta agronómica*, 57(1), 2008, p. 31-42.
- [8] PRIMAVESI, A. Manejo Ecológico del Suelo. 5 ed. Buenos Aires (Argentina): El Ateneo editorial, 1982, 495 p.
- [9] MOLINA, D., AMÉZQUITA, E. y HOYOS, P. Construcción de capa arable en suelos oxisoles de la altillanura colombiana. *Memorias VII Escuela latinoamericana de física de suelos*. La Serena (Chile), 2003, p. 113-117.
- [10] BURBANO, H. El suelo una visión sobre sus componentes biorgánicos. 1 ed. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, 1989, p. 189-277.
- [11] PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) SORACÁ [online]. 2011. Disponible: <http://soraca-boyaca.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m-s1--&m=f>. [Citado 20 de agosto de 2011]
- [12]. MENDENHALL, W. y SINCICH, T. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 1 ed. México D.F. (México): Prentice-Hall Hispanoamérica S.A., 1997, p. 536-712.
- [13] CANAVAS G. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. 1 ed. Bogotá (Colombia): Mc. Graw Hill, 1986, 448 p.
- [14] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI-UPTC Estudio general de suelos y zonificación del departamento de Boyacá. 1 ed. Bogotá (Colombia): Imprenta Nacional de Colombia, 2005, p. 252.
- [15] ALVEAR, M., REYES, F., MORALES, A., ARRIAGADA, C. y REYES, M. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Temuco (Chile): Asociación Argentina de Ecología Universidad de La Frontera, Casilla 54-D, Ecología Austral 17:113-122, 2007.*
- [16] CASTILLO, J., NAVIA, J. y MENJIVAR J. Estimación de la estabilidad estructural de dos suelos al sur de Colombia con diferentes tipos de manejo. *Acta Agronómica*, 57(1), 2008, p. 31-42.
- [17] NIETO DE ALBA, U. Introducción a la estadística concepción Bayesiana. Madrid (España): Aguilar S.A. Ediciones, 1974, p. 174.
- [18] BRAVO, C., LOZANO, Z., HERNANDEZ, R. y PIÑANGO, L. Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Barquisimeto (Venezuela): Bioagro*, (16), 2004, p. 163-172).