MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Efecto de subproductos orgánicos del proceso panelero sobre propiedades físicas de un suelo sulfatado ácido

The effect of organic byproducts of the jaggery production process on the physical properties of a sulfate acid soil

Jenny Catherine Montaño Santana[1], Fabio Emilio Forero Ulloa[2]

[1] Bióloga. MSc, Ingeniería Ambiental. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. catha0986@yahoo.com

[2] I.A. MSc, Ciencias Agrarias, Suelos y Aguas. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. guatoquero@gmail.com

Fecha de recepción: 03/05/2013
Fecha de aceptación: 02/07/2013

ABSTRACT

Acid sulphate soils have fertility problems because of the modification of physical, chemical and biological properties. However, the addition of organic amendments as a rehabilitation technique of acid sulphate soils allows recovery of soil properties such as aggregate formation and aeration, among others. This study was conducted to evaluate the effect of organic byproducts of sugarcane jaggery production process (leaf litter, bagasse and fresh filter cake) on the physical characteristics (bulk density, total porosity and dry structural stability) of an acid sulphate soil of Paipa (Boyacá) under greenhouse conditions. A trial using a completely randomized design with 9 treatments and 3 replications, corresponding to the incorporation of organic byproducts, alone and in combination, a control (without application) and agronomic treatment (lime dolomite). The soil physical parameters were evaluated at 45 (sampling 1) and 165 days (sampling 2) after amendments application. The results indicated that the application of leaf litter, bagasse and fresh filter cake in the soil, generated a favorable response in the variables: bulk density and total porosity, after 45 days; in the second sampling, the best response in these variables was achieved with 6.2 t/ha of leaf litter. However, the structural stability of soil did not show statistically significant differences. The application of organic byproducts of sugarcane jaggery production process improves the bulk density and the total porosity of an acid sulphate soil under greenhouse conditions.

Key words: soil aggregates, soil density, organic amendments, soil porosity.

RESUMEN

Los suelos sulfatados ácidos generan problemas de fertilidad, ya que modifican sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La incorporación de enmiendas orgánicas como técnica de rehabilitación de suelos sulfatados ácidos permite la recuperación de algunas propiedades del suelo, como la formación de agregados y la aireación, entre otras. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto que tienen los subproductos orgánicos del proceso panelero (hojarasca, bagacillo y cachaza fresca) como enmienda orgánica, sobre las características físicas (densidad aparente, porosidad total y estabilidad estructural en seco) de un suelo sulfatado ácido del municipio de Paipa, Boyacá, en invernadero. Se realizó un diseño experimental completamente al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones, correspondientes a la incorporación de los subproductos orgánicos, solos y en combinación, un testigo (sin aplicación) y un tratamiento agronómico (cal dolomita). Los parámetros físicos a evaluar se midieron a los 45 días (muestreo 1) y 165 días (muestreo 2) de la aplicación de las enmiendas. En las variables densidad aparente y poros totales del suelo, la aplicación de hojarasca, bagacillo y cachaza fresca generó en el primer muestreo una respuesta favorable y en el segundo, la mejor respuesta se logró con 6,2 t/ha de hojarasca; la estabilidad estructural en seco no presentó diferencias estadísticas significativas con la aplicación de los tratamientos. La aplicación de los subproductos orgánicos del proceso panelero mejora la densidad aparente y la porosidad total de un suelo sulfatado ácido, en condiciones de invernadero.

Palabras claves: agregados del suelo, densidad del suelo, enmiendas orgánicas, porosidad del suelo.

© 2013 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de esos recursos limitados de cuyo uso inapropiado e implementación de pobres prácticas de manejo resulta su degradación en una amplia gama de expresiones: erosión hídrica, eólica, compactación, deterioro de la estructura, agotamiento de nutrientes, acidificación, salinización (López, 2002), detrimento de la capa arable y, por lo mismo, pérdida de la materia orgánica (Burbano, 1998). Estos problemas asociados con la degradación del suelo, afectan las propiedades físicas y químicas del mismo, las cuales influyen sobre la aireación, la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua y la actividad biológica (Coria, 2007).

La acidez que se origina causa de la perturbación de los suelos sulfatados ácidos (SSA) y la estacionalidad climática en medios ultraácidos, con pH menor de 3,5, determinan cambios físicos, mineralógicos y bioquímicos en el suelo, en torno a los procesos de acidez (Castro *et al.,* 2006). Estos suelos presentan toxicidad de las diversas formas reducidas de azufre y problemas como las altas concentraciones de aluminio soluble, la formación de sales (Combatt *et al*., 2007), deficiencia de algunos nutrientes, compactación y baja permeabilidad (Department of Land and Water Conservation, 1998). Por lo tanto, la existencia de SSA genera problemas asociados con la fertilidad de los suelos agrícolas y afecta de manera directa sus propiedades físicas (Rincón *et al*., 2008). De esta forma, se dificulta el desarrollo de los cultivos, lo cual disminuye la sostenibilidad y la competitividad de todas las especies que se establezcan en este tipo de suelos (Combatt *et al*., 2007).

El uso de materiales orgánicos como enmienda a los suelos es beneficioso no sólo para la producción de cultivos, sino también para mantener la calidad del suelo debido a las funciones biológicas, físicas y químicas que la materia orgánica cumple en el suelo (Felipó, 2002). La aplicación de materia orgánica (MO) en el suelo mejora las cualidades físicas de estructura, aireación, absorción y retención de agua; además, aporta algunos elementos que le ayudan a las plantas a aminorar el efecto dañino de las enfermedades y plagas (Burbano, 1998). Por ende, la materia orgánica es un pieza clave para el mantenimiento de las funciones del suelo, al tiempo que lo protege del progreso de otros procesos de degradación (Felipó, 2002).

A escala nacional, esta práctica de incorporación de residuos orgánicos en los suelos se realiza con el fin de mejorar tanto propiedades químicas como físicas de suelos degradados y como método de fertilización (Plata *et al.,* 2009; Forero, 2009; Forero *et al.,* 2008). Por consiguiente, el objetivo de este estudio consistió en evaluar el efecto de la incorporación de los subproductos orgánicos del proceso de la elaboración de la panela (hojarasca, bagacillo y cachaza fresca), como enmienda orgánica, sobre las propiedades físicas (densidad aparente, porosidad y estabilidad estructural en seco) de un suelo sulfatado ácido proveniente del municipio de Paipa (Boyacá), en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en invernadero en el Jardín Botánico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, ubicado a una altura de 2680 msnm. El suelo sulfatado ácido (SSA) se colectó en el municipio de Paipa, Boyacá, vereda Pantano de Vargas, en un lote perteneciente al Distrito de Riego del Alto Chicamocha, debido a los reportes que se encontraron de la existencia de SSA en esta zona (GISSAT, 2006a); el lote se situó a una altura de 2510 msnm. Adicionalmente, de acuerdo con una investigación previa, el suelo de estudio presentó características propias de los suelos orgánicos y se clasificó taxonómicamente como *Hydric haplofibrists.*

En el área de estudio, se tomó una muestra de 1 kg de suelo, según la metodología planteada por Forero (2000), para realizar la medición de algunos parámetros físicos iniciales en el Laboratorio de Suelos de Docencia de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. Los parámetros se evaluaron de acuerdo con las recomendaciones estipuladas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2006). En la zona de estudio se recolectaron 540 kg de SSA; el suelo se tomó de los primeros 20 cm de profundidad, la cual según Castro *et al.* (2006) corresponde a la capa arable del suelo (0 – 25 cm). Así mismo, en un trapiche panelero artesanal en el municipio de Güepsa (Santander), se tomaron los subproductos orgánicos necesarios para la realización del experimento: hojarasca, bagacillo y cachaza fresca.

Las dosis (t/ha) de las enmiendas orgánicas a emplear se hallaron de acuerdo con el contenido de nitrógeno (N) del suelo y el N a aplicar en el SSA, según la metodología planteada por Forero (2009). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 9 tratamientos; cada tratamiento contó con 3 repeticiones, para un

p. 207-214

total de 27 unidades experimentales (UE). Cada unidad experimental estuvo compuesta por 4 bolsas de polietileno de 5 L de capacidad. En la tabla 1 se muestra la distribución de los tratamientos.

En invernadero, las muestras de suelo se sometieron a desmenuzamiento manual; posteriormente, se aplicaron las enmiendas correspondientes a cada tratamiento en la superficie del suelo y se realizó una mezcla, en cada caso. A cada una de las UE, se les adicionó 5 kg del suelo preparado, según tratamiento. El suelo se mantuvo en condiciones de humedad de capacidad de campo, para lo cual se realizó el riego con un intervalo de dos días. Después de 45 días de la aplicación de las enmiendas, se sembraron 3 semillas de fríjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris*) variedad ICA (Cerinza) en cada bolsa de las UE, como cultivo indicador.

El muestreo y la caracterización de los parámetros físicos de estudio en el suelo se realizaron a los 45 días de la incorporación de los tratamientos (antes de la siembra) y al finalizar el ensayo (165 días después de la aplicación de las enmiendas). Para el análisis de los datos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de promedios de Tukey con una confiabilidad de 95% con el programa estadístico SAS v. 9.1 (Cary, N.C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con las características físicas iniciales del suelo de estudio, se evidenció una baja densidad aparente (0,751 g/cm^3), esto se debe a la gran porosidad y liviandad que tienen los suelos orgánicos y los minerales con altos contenidos de materia orgánica (Castro, 1998). Debido a esto, se presentó un alto porcentaje de poros (58,664%), lo cual contribuye con una buena infiltración y puede permitir el paso rápido del agua a través del perfil; esta condición, según Rincón *et al.* (2008), es importante en suelos sulfatados ácidos para las labores de drenaje, ya que estos suelos se encuentran en las áreas planas del Distrito de Riego influenciadas por la presencia de un nivel freático fluctuante; sin embargo, de acuerdo con Cabrales *et al.* (2007), estos suelos pueden saturarse con facilidad, ya sea por agua lluvia o agua freática, si no cuentan con drenajes eficientes.

Según la clasificación del IGAC (2006), el suelo tiene una estructura estable, de acuerdo con el valor que se reportó del diámetro ponderado medio en seco (dpms) (3,378). Esto presenta un beneficio para este tipo de suelos, ya que la estabilidad estructural define la susceptibilidad de los suelos a prácticas de laboreo y riegos, principalmente; además, si estas prácticas son inadecuadas afectan otras propiedades físicas como la distribución de poros, la capacidad de infiltración y la distribución de humedad en el perfil, así como promueven la compactación y el encostramiento superficial (GISSAT, 2006a).

Posteriormente, en el primer muestreo se evidenciaron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para la densidad aparente, donde el testigo absoluto generó el valor más alto (0,63 g/cm^3) y, por el contrario, la aplicación de 19 t/ha de cal dolomita + 3,1 t/ha de hojarasca + 3 t/ha de bagacillo presentó el valor más bajo (0,56 g/cm^3) (figura 1A). Aunque no se presentaron diferencias significativas para la porosidad total, se observó que el porcentaje más alto (66,46%) se obtuvo con la aplicación de cal dolomita en combinación con hojarasca + bagacillo, y el porcentaje más bajo se encontró con la incorporación de 3,1 t/ha de hojarasca + 3 t/ha de bagacillo (55,08%)

Tabla 1. Descripción de los tratamientos del estudio

Tratamiento	Descripción
1	Testigo absoluto (sin aplicación)
2	Agronómico o químico: 19 t/ha de cal dolomita
3	6,2 t/ha de hojarasca (100%)
4	6 t/ha de bagacillo (100%)
5	7,8 t/ha de cachaza fresca (100%)
6	3,1 t/ha de hojarasca + 3 t/ha de bagacillo (50% - 50%)
7	3,1 t/ha de hojarasca + 3,9 t/ha de cachaza fresca (50% - 50%)
8	3 t/ha de bagacillo + 3,9 t/ha de cachaza fresca (50% - 50%)
9	19 t/ha de cal dolomita + 3,1 t/ha de hojarasca (50%) + 3 t/ha de bagacillo (50%)

p. 207-214

© 2013 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(figura 1B). En el segundo muestreo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,01$) para las dos variables, la menor densidad aparente (0,76 g/cm^3) y la mayor porosidad total (57,5%) se obtuvo con 6,2 t/ha de hojarasca, mientras que el valor más alto de densidad aparente (0,88 g/cm^3) y el más bajo de porosidad total (52,42%) se observó con 7,8 t/ha de cachaza fresca (figura 1A y B). Cabe mencionar que en el segundo muestreo, las diferencias estadísticas para la porosidad total se presentaron entre la aplicación de la cachaza (100%) con respecto a los tratamientos con hojarasca (100%), bagacillo (100%) y testigo químico (figura 1B).

La disminución de la densidad aparente y aumento de la porosidad total que se evidenció al cabo de 45 días de la aplicación de las enmiendas se debe, probablemente, a la incorporación de materia orgánica proveniente de la hojarasca, el bagacillo y la cachaza fresca, la cual genera espacios dentro de la matriz del suelo, lo que provoca un aumento de la macroporosidad y, por ende, una disminución de la densidad (Kay *et al.*, 1997; Unger y Jones, 1998; Cuevas *et al.,* 2006; Forero, 2009). De acuerdo con Forero (2009), la densidad aparente de un suelo varía, generalmente, entre 1,0 y 1,8 g/cm^3, y la obtención de valores menores -como sucedió en este estudio- indica la presencia de suelos con alta porosidad, liviandad y buena retención de humedad (Castro, 1998). Esto se debe posiblemente a la presencia de un alto porcentaje de materia orgánica (Cabrales *et al*., 2007) que caracteriza a los suelos orgánicos. Por consiguiente, la densidad aparente depende directamente de los contenidos de MO, su grado de descomposición y

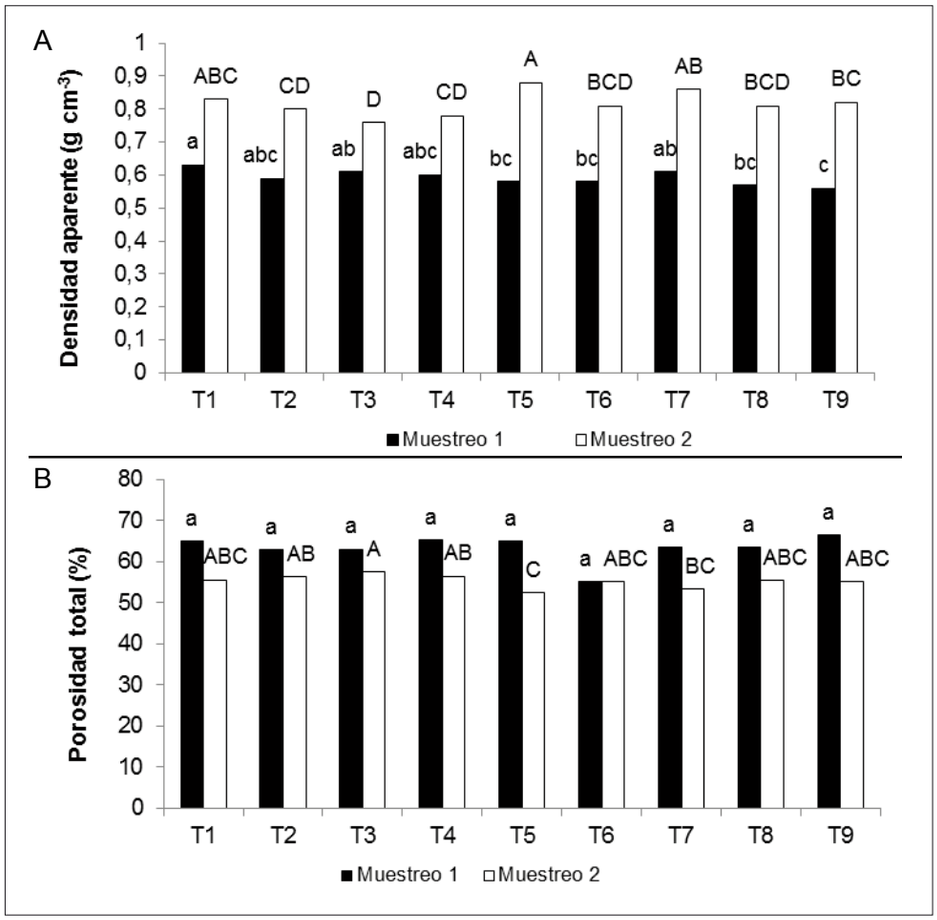

Figura 1. Efecto de subproductos orgánicos del proceso panelero sobre: A) densidad aparente, B) porosidad total de un suelo sulfatado ácido en invernadero

T1: Testigo absoluto; T2: Testigo químico; T3: Hojarasca 100%; T4: Bagacillo 100%; T5: Cachaza fresca 100%; T6: Hojarasca + bagacillo (50% - 50%); T7: Hojarasca + cachaza fresca (50% - 50%); T8: Bagacillo + cachaza fresca (50% - 50%); T9: Cal dolomita + hojarasca (50%) + bagacillo (50%).

Promedios seguidos de letras distintas en la misma serie presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey (5%).

p. 207-214

los contenidos de arcilla (GISSAT, 2006b; Tejada y González, 2008).

Herrick y Lal (1995) afirman que los aportes de materiales orgánicos reducen la densidad, con el fin de mejorar la estructura del suelo. Estos resultados concuerdan con Forero *et al.* (2008), quienes mencionan que la cachaza fresca disminuye la densidad aparente; de igual forma, Carter *et al.* (2004) redujeron este parámetro con la aplicación de compostaje en el suelo y Seguel *et al.* (2003), igualmente, reportaron que la incorporación de materia orgánica (bioabono y estiércol) provocaron, en un corto plazo, disminución de la densidad aparente y, consecuentemente, incremento de la porosidad total.

De acuerdo con Cuevas *et al.* (2006), la adición de materia orgánica en el suelo genera aumentos en los valores de porosidad total y, por lo tanto, favorece el movimiento de aire y la infiltración de agua (Seguel *et al.*, 2003; Canet, 2007). Esto concuerda con Castillo *et al*. (2000) quienes obtuvieron mayor porcentaje de porosidad total en el suelo, con el tratamiento que presentó el valor más alto de MO. Asimismo, se observó que el tratamiento correspondiente a 19 t/ha de cal dolomita + 3,1 t/ha de hojarasca + 3 t/ha de bagacillo generó el mayor porcentaje de porosidad y, a su vez, el valor más bajo de densidad aparente, en comparación con el testigo químico en el primer muestreo; esto pudo deberse probablemente a un sinergismo entre la cal dolomita y la materia orgánica proveniente del bagacillo y la hojarasca, lo cual permitió un mayor aumento en el porcentaje de porosidad total. De forma similar, Zérega *et al.* (1998) reportaron que el tratamiento sin la incorporación de cachaza presentó el mayor porcentaje de macroporos en el suelo.

Del mismo modo, se evidenció que la aplicación de 3,1 t/ha de hojarasca + 3 t/ha de bagacillo disminuyó ligeramente el porcentaje de porosidad (55,08%) a los 45 días de la aplicación de los subproductos orgánicos, y mantuvo este porcentaje hasta el final del experimento; este tratamiento, por lo tanto, no generó cambios significativos en la porosidad del suelo. Un resultado similar obtuvo Forero (2009), quien en el sistema maíz asoció frijol y la aplicación de 15 t/ha de cachaza, encontró un cambio mínimo en la porosidad del suelo.

Ordaz *et al.* (2011) mencionan que los residuos agroindustriales utilizados como enmiendas, permiten un aumento en la difusión del oxígeno molecular en la matriz del suelo e incrementan, en un inicio, la porosidad del suelo, esto se evidenció en el presente estudio, ya que al final del experimento (muestreo 2) se observó que la porosidad total se redujo y, por ende, se incrementó la densidad aparente, en todos los tratamientos; de igual forma, Bottenberg *et al.* (1999) afirman que la adición de materia orgánica al suelo, en ocasiones, puede aumentar la densidad. Sin embargo, Castro (1998) afirma que la disminución de la MO como consecuencia de la mineralización de una parte de la misma aumenta la densidad aparente del suelo. De acuerdo con Forero (2009), la disminución del espacio poroso y el aumento en la densidad aparente indican que el suelo se encuentra más compacto y tiene gran cantidad de fracción mineral. Asimismo, Mormeneo *et al.* (2009) afirman que las mezclas que se encuentran en macetas, suelo y enmiendas, con el tiempo se compactan, lo cual disminuye la infiltración de agua y la capacidad de aireación.

La respuesta más favorable de densidad aparente y porosidad del suelo que se obtuvo con la aplicación de 6,2 t/ha de hojarasca, se debe probablemente al fraccionamiento del residuo y al contenido de fibra que presenta este subproducto (Hernández *et al*., 2009), lo cual ayuda a mantener una condición suelta y granular del suelo mediante la disgregación del mismo que mejora la densidad aparente y la porosidad del suelo (Silva, 2004). Por el contrario, Sánchez *et al.* (2005) disminuyeron este parámetro con la incorporación de lombricompuesto de cachaza y estiércol bovino.

La estabilidad estructural en seco del suelo de estudio no presentó diferencias estadísticas significativas en ninguno de los muestreos; los valores oscilaron entre 4,4 y 4,94 mm (figura 2). De acuerdo con esto, la aplicación de cal dolomita y la presencia de materia orgánica (proveniente de los subproductos orgánicos o nativa) produjeron un efecto similar en la estabilidad estructural del suelo, probablemente debido a que la MO conduce a la síntesis de agentes cementantes que promueven la agregación (García, 2008; Forero *et al.,* 2008; Burbano, 1998). De igual forma, el encalado mejora la estructura de los suelos debido a la acción floculante de la cal *per se*, por su contenido de Ca, y a la acción floculante y cementante de los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, formados como producto de la adición de cal (Haynes y Naidu, 1998), lo cual favorece la aireación, la capacidad de retención de agua (García, 2008) y el aumento de la resistencia de los agregados a la acción de agentes externos como el agua (Canet, 2007).

p. 207-214

© 2013 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

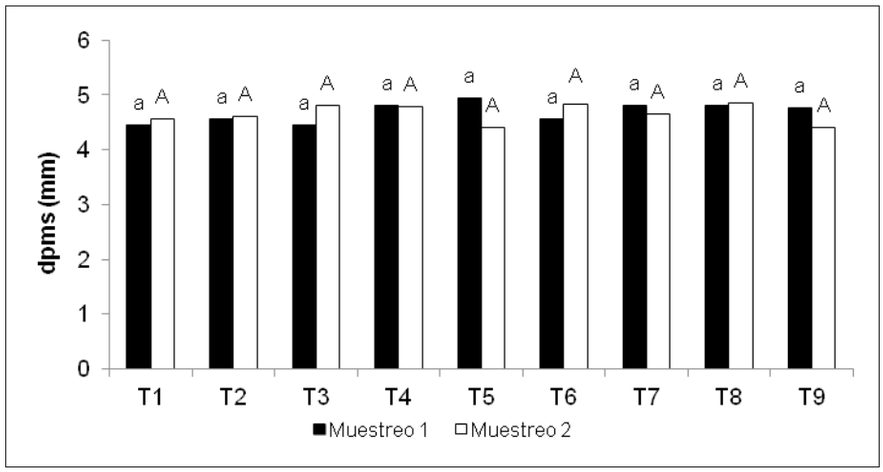

Figura 2. Efecto de subproductos orgánicos del proceso panelero sobre el dpms de un suelo sulfatado ácido en invernadero

T1: Testigo absoluto; T2: Testigo químico; T3: Hojarasca 100%; T4: Bagacillo 100%; T5: Cachaza fresca 100%; T6: Hojarasca + bagacillo (50% - 50%); T7: Hojarasca + cachaza fresca (50% - 50%); T8: Bagacillo + cachaza fresca (50% - 50%); T9: Cal dolomita + hojarasca (50%) + bagacillo (50%).

Promedios seguidos de letras distintas en la misma serie presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey (5%).

Bullinger-Weber *et al*. (2007) afirman que los agentes bióticos agregantes del suelo como la macrofauna, mesofauna, microfauna, microflora y las raíces cumplen un papel fundamental en la formación de agregados, al igual que los agentes abióticos como el contenido de arcilla, carbonatos de calcio, óxidos de hierro y materia orgánica. Al respecto, Mora *et al.* (2001) y Osorno (2012) señalaron que la aplicación de MO y cal a los suelos, permite mejorar las características físicas del suelo como la agregación.

Por consiguiente, la aplicación del material encalante y los residuos orgánicos presentan efectos positivos y similares sobre la estabilidad estructural del suelo, razón por la cual, posiblemente, no se presentaron diferencias entre los tratamientos de este estudio. Estos resultados concuerdan con Carter *et al*. (2004), quienes no obtuvieron diferencias significativas en la estabilidad de agregados entre el testigo y la adición de compostaje en el suelo; asimismo, Forero *et al.* (2008) afirman que el aumento de la agregación del suelo se puede presentar por el aporte de materia orgánica, las raíces de las plantas y la solubilización de cementantes químicos.

Sin embargo, el testigo absoluto también generó un incremento en el valor de dpms en el suelo, lo cual probablemente se deba al alto contenido de materia orgánica nativa que presenta este tipo de suelo, ya que los organismos presentes en el suelo también actúan en la formación de la estructura del mismo, mediante la degradación de materiales orgánicos y movilización de nutrientes, principalmente en suelos ácidos con alto contenido de MO (Marinissen *et al.,* 1996).

En general, el incremento de los valores de dpms en la mayoría de los tratamientos en comparación con el testigo absoluto indica que el suelo presentó una mejoría respecto a este parámetro; a excepción de la incorporación de 6,2 t/ha de hojarasca (luego de 45 días de su aplicación) y las dosis de 7,8 t/ha de cachaza fresca y 19 t/ha de cal dolomita + 3,1 t/ha de hojarasca y 3 t/ha de bagacillo, en el segundo muestreo. De acuerdo con el IGAC (2006), los suelos que presentan valores entre 3,0 y 5,0 mm se consideran estables, lo cual favorece el almacenamiento (Murray *et al.*, 2011) y la circulación del agua y del aire (Canet, 2007) a través del suelo, requeridos para el crecimiento y metabolismo de las plantas (Castro, 1998).

La estructura y la porosidad del suelo ejercen influencia sobre el abastecimiento de agua y de aire a las raíces, la disponibilidad de los nutrientes, la penetración y desarrollo de las raíces, y el desarrollo de la microfauna del suelo. Además, una estructura de buena calidad significa una buena calidad de espacio de poros, con buena continuidad y estabilidad de los poros y una buena distribución de su medida, incluyendo tanto macroporos como microporos (FAO, 2000). Por el contrario, Combatt *et al.* (2004) mencionan que la estabilidad estructural de los SSA oscila, en general, entre poco estable, medianamente estable y estable, con tendencia

p. 207-214

a que predomine la inestabilidad de los agregados. Sin embargo, el Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales menciona que la estabilidad de agregados en seco de los SSA del Distrito de Riego del Alto Chicamocha fluctúa de ligeramente estable a estable, según los parámetros de interpretación definidos por el IGAC (2006) y el manejo del suelo, lo cual concuerda con este estudio (GISSAT, 2006b).

En cuanto al crecimiento de las plántulas de fríjol arbustivo (*P. vulgaris*), se evidenció que las altas concentraciones de aluminio intercambiable que caracterizan a este tipo de suelos y que se presentaron con la aplicación de hojarasca, bagacillo y cachaza fresca, solos y en combinación, sin la presencia de cal dolomita, afectaron considerablemente el crecimiento y desarrollo de las plántulas, independientemente de los cambios físicos que se observaron en el suelo con la incorporación de los diferentes tratamientos.

CONCLUSIONES

La incorporación de subproductos orgánicos del proceso panelero (hojarasca, bagacillo y cachaza fresca), como enmienda orgánica en un suelo sulfatado ácido, permitió obtener un mayor aumento de la porosidad total y, por ende, mayor disminución de la densidad aparente, en comparación con los tratamientos testigos, al cabo de 45 días de la aplicación de los mismos.

Al finalizar el estudio, la incorporación de 6,2 t/ha de hojarasca generó valores más altos de poros totales y menores de densidad aparente en el suelo sulfatado ácido de estudio, con respecto a los demás tratamientos evaluados, lo que indica que este tratamiento mejora las condiciones de estas dos variables físicas en este tipo de suelos, en condiciones de invernadero.

El aumento de los valores de la estabilidad estructural del suelo de estudio, no sólo se vio influenciada por la aplicación de cal dolomita y subproductos orgánicos en el suelo, sino también por la alteración que sufrió el suelo al inicio del estudio, como parte de la metodología de implementación de tratamientos e invernadero. Por lo tanto, se debe contemplar la posibilidad de evaluar los tratamientos empleados en este estudio, así como la eficiencia de los mejores resultados, en condiciones de campo.

REFERENCIAS

Bottenberg H, Masiunas J, Eastman C. 1999. Strip tillage reduces yield loss of snap bean planted in rye mulch. Hort Technology 9(2):235–240.

Bullinger-Weber G, Le Bayon RC, Guenat C, Gobat JM. 2007. Influence of some physicochemical and biological parameters on soil structure formation in alluvial soils. European Journal of Soil Biology 43(1):57–70.

Burbano H. 1998. Las enmiendas orgánicas. En: Guerrero R. Fertilización de cultivos en clima frío. 2 ed. Bogotá, Monómeros Colombo Venezolanos S. A, pp. 363–403.

Cabrales EM, Campo R, y Combatt E. 2007. Dinámica nutrimental y caracterización microbiológica de los suelos sulfatados ácidos del Valle del Sinú–Colombia. Proyecto del Grupo de Investigación de Manejo de Cultivos Tropicales, Línea de Investigación en Suelos y Aguas. Córdoba, Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, 201 p.

Canet R. 2007. Aplicación agrícola de materia orgánica: Importancia y aspectos generales. España, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), 12 p.

Carter M, Sanderson J, Macleod J. 2004. Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. Canadian Journal of Soil Science 84(2):211–218.

Castillo A, Gauna D, Dalurzo H, Fernández S. 2000. Cambios en las propiedades físicas por el uso de enmiendas orgánicas. Argentina, Universidad Nacional del Nordeste–UNNE, 3 p.

Castro H, Gómez M, Munévar O, Hernández I. 2006. Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos en el Distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá) mediante pruebas de incubación. Agronomía Colombiana 24(1):122–130.

Castro H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual técnico. Tunja, Instituto Universitario Juan de Castellanos, 360 p.

Combatt E, Jarma A, Martínez G, Cabrales E, Cardona C, Atencio L, Cadavid C, Uparela E, Mercado J. 2007. Caracterización de suelos sulfatados ácidos y la respuesta de tres especies vegetales en el bajo Sinú de Córdoba. Informe del Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales de Clima Cálido. Córdoba, Universidad de Córdoba, Oficina administrativa de Investigación y Extensión, 278 p.

Combatt E, Martínez Z, Cabrales E, Martínez G, Castillo C, Palencia M. 2004. Caracterización fisicoquímica y mineralógica de los suelos sulfatados ácidos en el transecto San Carlos–Cotorra–Carrillo. Departamento de Córdoba. Informe del Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales de Clima Cálido, Córdoba, 3 p.

Coria I. 2007. Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. En: Centro de Altos Estudios Globales, http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/UAIS-IGA-600-001%20-%20Remediacion.pdf; consulta: abril 2011.

Cuevas J, Seguel O, Ellies A, Dörner J. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 6(2):1–12.

© 2013 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

p. 207-214

Department of Land and Water Conservation. 1998. Guidelines for the use of acid sulfate soil risk maps. 2 ed. Sydney, 20 p.

Felipó T. 2002. Utilización de materia orgánica residual urbana en la recuperación de suelos degradados. En: Curso de Agricultura y Medio Ambiente: Nuevos Avances en Conservación y Manejo de Agrosistemas. Barcelona, Unitat d'Edafologia, Universitat de Barcelona, 10 p.

Forero F, Torres J, Balaguera-López H. 2008. Efecto de la aplicación de cachaza fresca y de dos sistemas de producción maíz y maíz con asocio fríjol sobre propiedades físicas de un Inceptisol. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 2(2): 205–216.

Forero F. 2000. La muestra de suelos y su importancia. Colombia, Búhos Editores, 32 p.

Forero F. 2009. Respuesta agroeconómica a dos sistemas de producción: maíz (*Zea mayz* L.) y maíz asocio fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de cachaza en la Hoya del Rio Suarez, Municipio de Chitaraque. Tesis de Maestría. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 146 p.

García A. 2008. La materia orgánica (MOS) y su papel en lucha contra la degradación del suelo. En: Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador, Memorias, 18 p.

Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales (GISSAT). 2006a. Caracterización física de los suelos sulfatados ácidos del Distrito de Riego del Alto Chicamocha y su aplicación al manejo (Documento 9). En: Proyecto Colciencias–UPTC. Caracterización de la problemática de suelos sulfatados ácidos improductivos y evaluación del manejo para su habilitación agrícola. Distrito Riego del Alto de Chicamocha (Boyacá). Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 19 p.

Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales (GISSAT). 2006b. Estudio semidetallado de suelos sulfatados ácidos (Documento 1). En: Proyecto Colciencias–UPTC. Caracterización de la problemática de suelos sulfatados ácidos improductivos y evaluación del manejo para su habilitación agrícola. Distrito Riego del Alto de Chicamocha (Boyacá). Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 63 p.

Haynes RJ, Naidu R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51(2):123–137.

Hernández M, Sánchez S, Crespo G. 2009. Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit cv. Cunningham: I. Influencia de su composición química. Pastos y Forrajes 32(3):1–11.

Herrick J, Lal R. 1995. Soil physical property changes during dung decomposition in a tropical pasture. Soil Science Society of America Journal 59(3):908–912.

IGAC, Instituto geográfico Agustín Codazzi. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 6 ed. Bogotá D.C., Imprenta Nacional, 648 p.

Kay B, Silva A, Baldock J. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: predictions using pedotransfer functions. Canadian Journal of Soil Science 77(4):655–667.

López R. 2002. Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. 2 ed. Mérida (Venezuela), Talleres gráficos del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial Universidad de los Andes (CIDIAT), 280 p.

Marinissen J, Nijhuis E, Van Breemen N. 1996. Clay dispersability in moist earthworm casts of different soils. Applied Soil Ecology 4(1):83–92.

Mora M, Ordaz V, Castellanos JZ, Aguilar A, Gavi F, Volke V. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un Vertisol, después de cuatro años de manejo. Terra 19(1):67–74.

Mormeneo I, Aguirre ME, Santamaría R, Roncoroni J. 2009. Efecto de enmiendas orgánicas en mezclas con suelo sobre la pérdida de agua por evaporación. En: http://agrometeorologia.criba.edu.ar/Downloads/INVERNACULO%20CONGRESO.pdf; consulta: febrero 2013.

Murray RM, Bohórquez Jl, Hernández A, Orozco MG, García JD, Gómez R, Ontiveros HM, Aguirre J. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. Revista Bio Ciencias 1(3):27–35.

Ordaz JA, Martínez A, Ramos FR, Sánchez LF, Martínez AJ, Tenorio JA, Cuevas M. 2011. Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula. Multiciencias 11(2):136–145.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín no.8 de Tierras y Aguas de la FAO. Roma, Instituto Nacional de Agricultura Tropical (IITA), 220 p.

Osorno H. 2012. Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia. Trabajo de Magíster en Ciencias, Geomorfología y Suelos. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 70 p.

Plata AE, Forero FE, Balaguera-López HE, Serrano PA. 2009. Evaluación del efecto de la aplicación de cachaza fresca al cultivo de repollo (*Brassica oleraceae* var. Capitata L.). Ciencia y Agricultura 7(1):29–42.

Rincón A, Castro H, Gómez M. 2008. Caracterización física de los suelos sulfatados ácidos del Distrito de Riego del Alto Chicamocha (Boyacá) y su aplicación al manejo. Agronomía Colombiana 26(1):134–145.

Sánchez R, Ordaz V, Benedicto S, Hidalgo C, Palma-López D. 2005. Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricompuesto de cachaza y estiércol. Interciencia 30(12):775–779.

Seguel O, García V, Casanova M. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. Agric. Téc. 63(3):287–297.

Silva A. 2004. La materia orgánica del suelo. En: http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/Materia%20Organica/organica.pdf; consulta: mayo 2012.

Tejada M, Gonzalez J. 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. Geoderma 145(3):325–334.

Unger P, Jones O. 1998. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. Soil and tillage research 45(1):39–57.

Zérega L, Hernández T, Valladares J. 1998. Efectos de la labranza sobre el suelo y en el cultivo de la caña de azúcar. I. a corto plazo. Agronomía Tropical 48(4):501–513.

p. 207-214