MEJORA DE LA APTITUD AGRÍCOLA DE DOS SUELOS PARDOS SIALÍTICOS USADOS EN LA AGRICULTURA SUBURBANA CON LA APLICACIÓN DE PULPA DE *COFFEA ARÁBICA* L.

MSc. Rafael Cervantes Beyra[1]; Ing. Daybelis Fernández Valdés[1]; Ing. Dayvis Fernández Valdés[2]; MSc. Arturo Ocampo Ramírez[2]

RESUMEN

La utilización eficiente de subproductos industriales orgánicos en la agricultura urbana y suburbana, es una de las fortalezas que presentan los productores para mejorar el aptitud agrícola de los suelos medida a través de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. De esta manera se mejora la seguridad alimentaria de las zonas citadinas, así como la sostenibilidad económica y ambiental de la producción local de alimentos. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de la pulpa de *Coffea arábica* L. en proporción 3:1 sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelosPardos Sialíticos con diferentes estados de sostenibilidad usados en la agricultura suburbana. Para cumplir el objetivo propuesto se evaluó la sostenibilidad agroecológica de los suelos; se analizaron las variaciones de la actividad microbiológica usando como indicadores la respiración basal edáfica, el conteo de microorganismos y la tasa de mineralización; se determinó las modificaciones químicas a través de los ensayos químicos generales y la relación entre los coeficientes E_{465}/E_{665}; y por último, se realizaron las pruebas físicas estructurales de distribución de agregados y coeficiente de estabilidad estructural en los tamices secos y húmedos, e índice de peso promedio. Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS y la prueba de ANOVA multifactorial. Los resultados obtenidos mostraron que la pulpa de café mejora la aptitud agrícola de los suelos Pardos Sialíticos medida a través de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Palabras clave: producción local de alimentos, propiedades de suelos, subproducto industrial orgánico.

1-Profesor de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez" (UNAH), Cuba. E-mail: cervantes@unah.edu.cu, 2-Investigador del Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Zacatenco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Cuidad de México, México.

Improves of the agricultural aptitude of two soils used in the suburban agriculture with the application of pulp of *Coffea arabica* L.

ABSTRACT

The efficient use of organic industrial products in the urban and suburban agriculture, is one of the fortitude that the farmers present to improve the agricultural aptitude of the soils measured across its physical, chemical and biological properties. This way the food security of the city is improved, as well as the economic and environmental sustainability of the local production of food. For that reason the object of this work was analyze the effect of the pulp of *Coffea arabica* L. in proportion 3:1 on some physical, chemical and biological properties of two soils with different states of sustainability used in the suburban agriculture. To complete the object the agroecology sustainability of the soils was evaluated; were analyzed the changes of the microbiological activity using like indicators the basal respiration edaphic, the count of microorganisms and the mineralization rate; was determined the chemical modifications across the general chemical analysis and the relation between the coefficients E_{465}/E_{665}; and finally, there were realized the structural physical tests of distribution of aggregations and coefficient of structural stability in the dry and humid sieves, and index of average weight. For the prosecution of the information was used the statistical program STATGRAPHICS and the test of ANOVA multifactorial. The obtained results showed that the coffee pulp improves the agricultural aptitude of the soils measured across its physical, chemical and biological properties.

Key words: local production of food, organic industrial product, properties of soils.

INTRODUCCIÓN

La pulpa de *Coffea arabica* L.*,* es un contaminante que constituye una incógnita para la industria cafetalera nacional. En la cosecha 2010-2011 se estimó que fueron producidas más de4 800 t de residuos sólidos para una producción de 6 000 t del grano, lo que representa una fuente de peligro potencial, teniendo en cuenta que los lugares de producción son montañosos y las precipitaciones pueden arrastrarla a través de suelos y ríos.

En este sentido, es conocido que la pulpa de café es un compuesto portador de un amplio horizonte de elementos de primera prioridad para el desarrollo de las plantas y la fertilidad del suelo como nitrógeno,

fosforo, potasio, calcio y magnesio los que pueden llegar a alcanzar un nivel de representación porcentual en el tejido lignocelulósico de 33,7; 2,5; 57,5; 4,1 y 1,6 respectivamente (Sadeghian, 2012).

Por otra parte, se ha reportado que la descomposición de este polímero orgánico produce los ácidos poliurónicos que son los principales agentes agregantes del suelo. Esto desencadena la corrección de los atributos dependientes de su presencia como la inversión de la degradación bioestructural del suelo, disminución de la densidad, aumento del espacio poroso total, formación de agregados agronómicamente útiles e incremento de la resistencia estructural de los agregados(Flores, Izquierdo, & Manzanares, 2011).

Cabe agregar que la actividad edáfica es indicativa del estado de salud de los suelos. Juega un papel central en la incorporación de productos vegetales en los edafones y a la vez es sensible a los cambios y alteraciones a corto plazo que estos provocan. Un alto porciento de los constituyentes de la microflora edáfica proviene de la materia orgánica que es su alimento esencial, por lo que puede ser utilizada como un indicador a la hora de evaluar el estado ecológico de un suelo al aplicar un material alternativo.

No obstante, los estudios referentes al efecto de la pulpa de café en la mejora de las condiciones biológicas de los suelos Pardos Sialíticos, no son concluyentes. La integración de este tipo de material lignocelulósico trae asociada modificaciones en los estados ecológicos de los perfiles y por consiguiente en sus propiedades; es por ello que el objetivo de este trabajo es analizar el efecto de la pulpa de *Coffea arabica* L. en proporción 3:1 sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelos Pardos Sialíticoscon diferentes estados de sostenibilidad usados en la agricultura suburbana.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en los suelos Pardo Sialítico mullido (PSm) y Pardo Sialíticoócrico (PSo) (Hernández *et al.,* 1999), con producción suburbana, ubicados en el macizo montañoso Guamuhaya que está localizado en la parte sudeste de la región central de Cuba. Limita al norte con las llanuras erosivas de Manicaragua y Cabaiguán, por el sur con una estrecha llanura costera abrasivo-acumulativa y llanuras denudativas altas, por el este con la llanura fluvial del río Zaza y por el oeste con las llanuras aluviales del río Arimao.

Se utilizó un experimento a campo abierto en el cual la pulpa de café y el tipo de suelo fueron los dos factores en estudio. Como se trabajó en condiciones de montaña y la anisotropía o variabilidad del suelo se intensifica con el relieve, se agrupó el material experimental en bloques completamente aleatorizados donde solamente los factores en estudio provocaron las variaciones; el resto de las condiciones se mantuvieron constantes.

Los tratamientos o niveles fueron cuatro (Tabla 1) y la dosis escogida fue 3:1 (25%), ya que a aplicaciones mayores se pueden crear condiciones desfavorables para el crecimiento de las plantas por anaerobiosis, inhibición de la actividad de microorganismos benéficos y toxicidad.

El muestreo se realizó en dos momentos comprendidos entre los años 2010 y 2011, buscando la máxima integración de la pulpa de café. Para la reproducibilidad de los resultados se replicó tres veces cada tratamiento y la menor unidad experimental fueron parcelas de 4m2 que conformaron bloques de 4ha y 6ha para los suelos PSoy PSm respectivamente, según las dimensiones ya establecidas en estos campos. Las variables respuestas medidas en cada uno de los análisis se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Tratamientos utilizados en el diseño bifactorial.

Factores/Tratamientos		**Tipo de Suelo**	
		PSm	**PSo**
Pulpa de Café	**Sin pulpa**	T_1	T_3
	25% de pulpa	T_4	T_6

Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus para Windows 5. El análisis estadístico incluyó Análisis de Varianza múltiple y se verificó en cada uno de los casos el cumplimiento de los supuestos teóricos. Se aplicó la dócima de comparación de Duncan en el caso necesario y se estableció un nivel de significación de 0,05 para un 95% de intervalo de confianza de la prueba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicadores de sostenibilidad de los suelos

Uno de los desafíos que enfrentan tanto agricultores como extensionistas e investigadores es saber de manera sencilla cuando un agroecosistema es

saludable, o más bien, en qué estado de salud se encuentra. Con esta información, se pueden realizar estrategias de manejo agroecológico y enfundar análisis que les permita a los productores aclarar interrogantes que se presentan durante el proceso productivo.

Tabla 2. Variables utilizadas en cada una de las determinaciones en los suelos.

Análisis	Determinación
Sostenibilidad	Sostenibilidad agroecológica de suelos
Biológicos	Unidades formadoras de colonias (UFC)
	Respiración basal edáfica (RB)
	Tasa de mineralización (TM)
Químicos	pH en agua
	Materiaorgánica
	Bases cambiables de suelo
	Forma asimilable de fosforo (P_2O_5)
	Forma asimilable de potasio (K_2O)
	Capacidad de IntercambioCatiónico
	Relación E_{465}/E_{665}
Físicos	Distribución de agregados (tamizado)
	Estabilidad estructural en seco
	Estabilidad estructural en húmedo
	Índice de peso promedio de agregados

En la Figura 1, se muestran los valores asignados a los indicadores de calidad de los suelos en cada uno de los tratamientos. Se puede observar que para el suelo PSmen los dos tratamientos en estudio los atributos de calidad obtuvieron la misma puntuación y la gran mayoría presentó el valor máximo que establece la metodología (10), por tanto se integran de forma armónica todas las interacciones del sistema. Por otra parte, para el PSo es evidenteque la explotación del campo ha estado divorciada del quehacer conservacionista y como resultado se manifiesta una estructura más perturbada. El suelo PSm, rico en materia orgánica, tenía un color negro o pardo oscuro con olor a tierra fresca y se hundía al caminar sobre él. Presentó una estructura friable que mantenía la configuración frente a

pequeñas presiones. Frente a las precipitaciones el agua penetraba los horizontes y la fuerza capilar retenía buena parte dentro, siendo su capacidad máxima de retención superior a la del suelo PSo. La actividad biológica sin llegar a presentar el valor máximo al igual que los demás indicadores, fue muy buena, y se observó bastante presencia de lombrices y artrópodos que confluían en el mismo nicho. En cada una de las observaciones los indicadores presentaron la misma puntuación promedio de 9,75.

El suelo PSo, presentó una estructura cúbica en forma de bloques subangulares medianos debido al desgaste físico durante los años en producción. Los agregados evidenciados fueron un poco más groseros que los formados por la estructura granular y estaban unidos entre sí por compuestos orgánicos que los dotan de cierta rigidez y estabilidad. La lluvia penetraba con alguna dificultad en el suelo y la cantidad que queda retenida era mucho menor que en el subtipo mullido. Las raíces fueron algo limitadas en la superficie por la compactación ligera, pero pasados los 10 cm comenzaban a evidenciarse en mayor número. Tras la incorporación del compuesto lignocelulósico mejoró el valor promedio de los indicadores de sostenibilidad del suelo en más de una unidad, y pasó de 6,13 a 7,63.

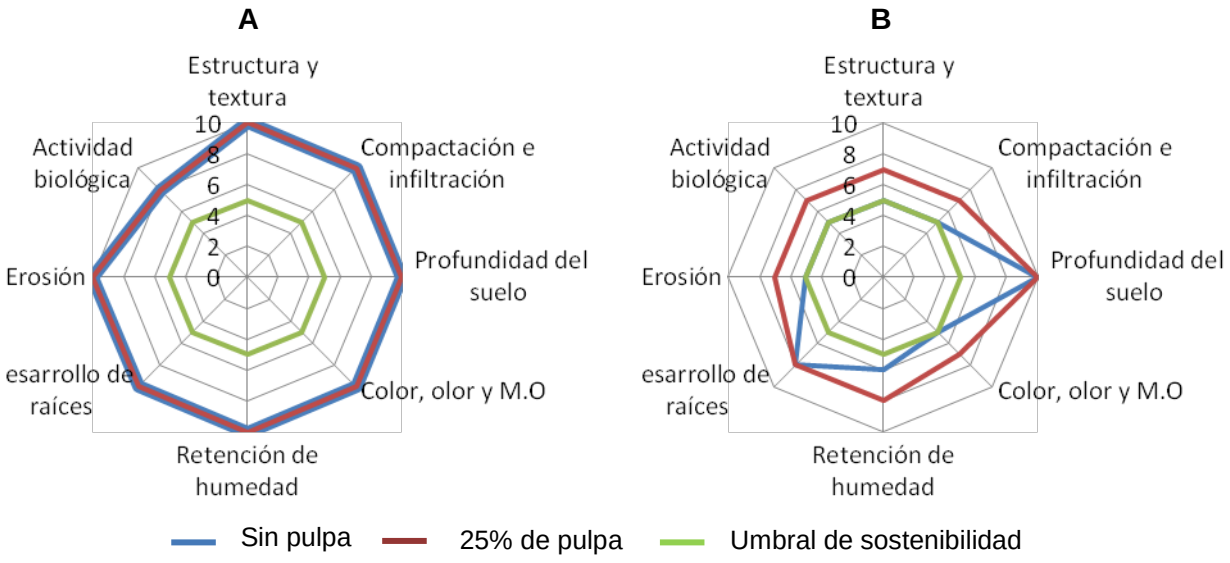

Figura 1. Representación radial de los indicadores de calidad de los suelos PSm (A) y PSo (B) para los dos tratamientos.

Propiedades biológicas de los suelos

Al aplicar el compuesto lignocelulósico a los suelos, se pudo constatar que para los dos factores en estudio (pulpa de café y tipo de suelo) la RB no presentó diferencias significativas, en tanto para las UFC y la TM se evidenciaron una mejora estadísticamente significativa entre cada nivel (Figura 2). La baja diferenciación respiratoria entre los tratamientos para factor pulpa de café indica que la actividad edáfica no se presentó de forma degradativa en la concentración estudiada debido principalmente a la relación C:N de la pulpa (16:1) y el desarrollo de morfotipos de alta eficiencia (hongos y actinomicetos) (Anderson & Domsch, 1990).

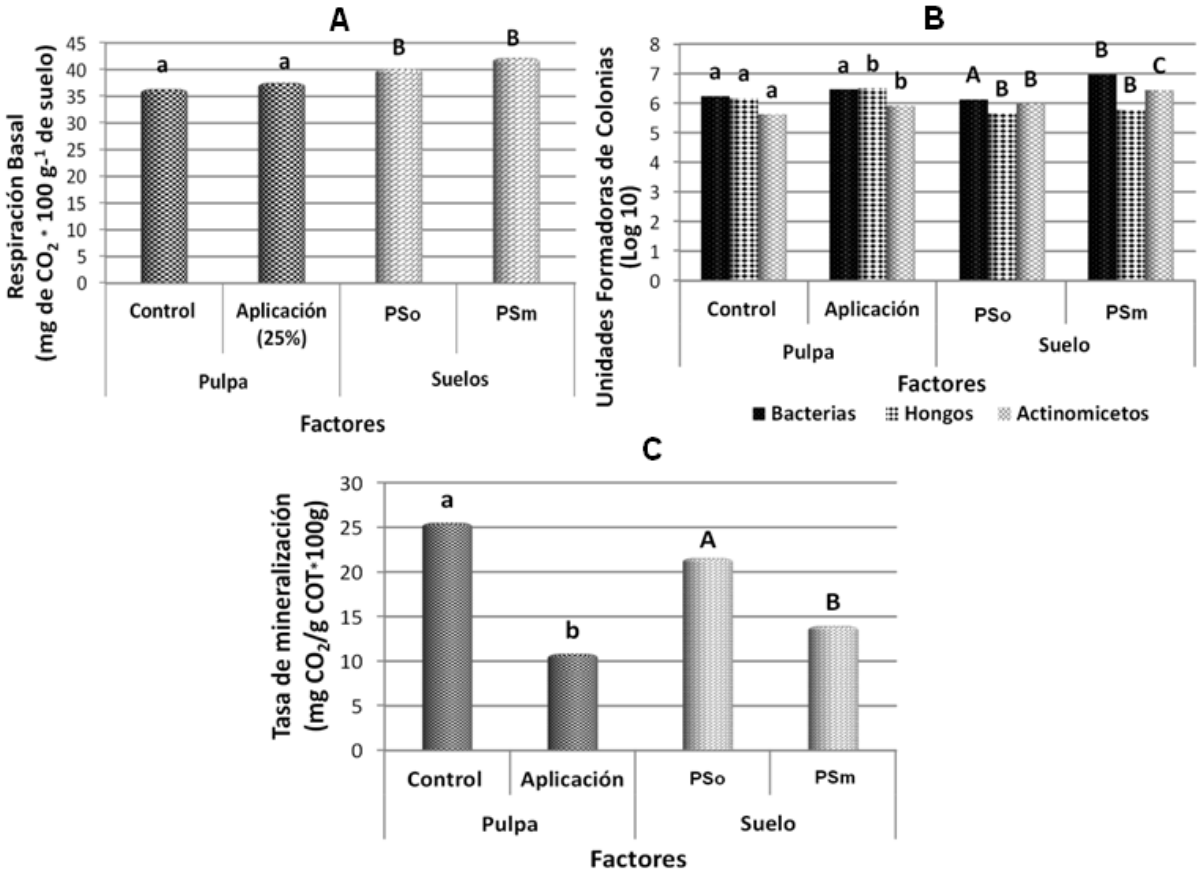

Figura 2. Valores promedios de la RB (A), UFC (B) y TM (C) para cada factor en los niveles estudiados.

En correspondencia, en el análisis de UFC se observa que las poblaciones de bacteria no tuvieron un incremento significativo debido al pH ácido de la pulpa de café (pH_{pulpa}=4,4), mientras que los hongos y actinomicetos proliferaron por su tolerancia al medio ácido y a su capacidad de descomposición de compuestos complejos como lignina y celulosa presentes en la pulpa (Escobar, Mora, & Romero, 2012). Por todo ello, la TM disminuyó de forma significativa lo que permitió la conservación y secuestro de compuestos carbonados que intervienen en la estructuración edáfica.

Los resultados mostrados por el factor "tipo de suelos" están relacionados directamente con el estado físico de los suelos y su diferenciación pedogénica, lo que determina la conservación de la microflora y las reservas de nutrientes que establecen su desarrollo. Po tanto, como el suelo PSm presenta mayor contenido y condensación de los compuestos orgánicos y una composición física estructural más elaborada; los tenores del cociente respiratorio, las UFC y la TM son mejores que los observados en el suelo PSo.

Propiedades químicas de los suelos

En la Tabla 3, se muestra la composición química de la pulpa utilizada y se aprecia que el compuesto lignocelulósico presenta elevados contenidos de calcio, potasio, nitrógeno, reacción ácida y una relación carbono-nitrógeno óptima.La suficiente representación de potasio y nitrógeno supone una mayor disponibilidad de estos elementos a la hora de la extracción por la plantación para la formación de los frutos y de brotes foliares jóvenes. Estos resultados se consideran favorables para la utilización del compuesto como mejorador de condiciones químicas en los suelos.

Tabla 3. Composición química en masa seca para 0,25 g (N, P y K) y 1 g (Ca y Mg) de la pulpa de café utilizada.

Elementos químicos en masa seca de tejido vegetal							
Ca(%)	Mg(%)	P(%)	K(%)	N(%)	pH	C(%)	C/N
2,26	0,23	0,2	1,96	3,41	4,4	54,14	16:1

En la Tabla 4, se muestran los resultados promedios de los ensayos químicos para cada factor en estudio, y en ellos se evidencia como mejora la aptitud química general frente a la adición de pulpa. Dichos resultados han sido muy beneficiosos para el sueloPSo ya que los perfiles con valores inferiores a 2,1% de materia orgánica, ocasionan desbalances nutricionales en las plantaciones y se afecta la estructuración ya que se favorecen los procesos erosivos del suelo (Gil, 2008).

Tabla 4. Propiedades químicas de los suelos PSm y PSo para los factores en estudio.

Trat.	pH	($cmol^+ * Kg^{-1}$)						(%)		$\frac{Ca^+}{Mg^+}$	(nm)
		Ca^+	Mg^+	K^+	Na^+	S	T	V	MO		E_{465}/E_{665}
PSm											
C	6,27	28,85	10,03	2,94	0,87	42,68	47,88	89,14	4,11	2,88	4,23
A	6,37	31,00	11,01	4,03	1,00	47,03	51,48	91,37	7,31	2,82	4,22
PSo											
C	6,11	24,40	8,88	2,26	0,68	36,23	41,02	88,32	2,09	2,75	7,40
A	6,41	27,36	9,88	3,95	0,80	41,99	46,96	89,42	6,34	2,77	7,39

En la interpretación de los resultados se puede inferir que los suelos PSm y PSo mostraron un comportamiento muy similar respecto a la mejora de las propiedades químicas evaluadas frente a la adición de la pulpa, no obstante, el suelo PSm mostró los ácidos húmicos más condensados (4,23 nm) por lo que se infiere la presencia de proporciones relativamente grandes de estructuras alifáticas, mayor contenido de carbono, menor proporción de ácidos carboxílicos y mayor peso molecular. Ambos perfiles edáficos experimentaron un aumento de 1,66 y 3,16 unidades porcentuales en la saturación por K^+ respectivamente lo que provocó una disminución del Mg^+que se encuentra en exceso (23%). La enmienda orgánica hace que aumente la asimilación del K^+ (y presumiblemente la de N) y elimine el exceso de Mg^+ que limita al Ca^+. Ello se considera beneficioso para las condiciones en estudioya que se corrigen las relaciones K^+/Mg^+ y Ca^+/Mg^+ según los índices físico-químicos establecidos por Mesa y Naranjo (1984).

Propiedades físicas de los suelos

La aplicación del compuesto lignocelulósico causó variaciones en las condiciones estructurales de los suelos en estudio. En su mineralización liberó a los suelos compuestos orgánicos que fungieron como aglutinantes de las partículas edáficas. En la Figura 3A, se muestra la distribución del tamizado en seco para cada tratamiento y se puede ver, que los agregados de 3 y 1 mm fueron los más evidenciados para los niveles en estudio. Los diámetros de <0,25 mm, 0,25 mm y 1 mm experimentaron marcados descensos lo que sugiere que estos agregados pequeños se unieron entre sí por los cementantes orgánicos aportados por la pulpa y pasaron a formar agregados de mayor complejidad como los de 3 mm(Jordán, Zavala, & Gil, 2010).

De igual forma, en el tamizado húmedo los suelos tratados con pulpa de café presentaron mayor resistencia hídrica que sus homólogos de los tratamientos controles (Figura 3B). Los agregados comprendidos en los diámetros por encima de 2 mm fueron los de mayor representación en el análisis; sin embargo, las fracciones menores de 0,25 mm también mostraron altos niveles debido a la dispersión ejercida por el agua sobre los macroagregados. No obstante, para los dos suelos estas últimas fracciones fueron menores en los tratamientos con pulpa respecto a los controles.

Para ambas pruebas los resultados estadísticos mostraron que existe diferencia significativa entre la agregación de cada una de las fracciones respecto a los factores en estudio. Es así que para el tamizado en seco se manifiesta un aumento significativo ($\alpha \leq 0,05$) de las fracciones agronómicamente útiles (10 mm a 0,25 mm)(Hernández et al., 2010), al aplicar la pulpa de café y una diferenciación marcada entre la composición estructural de cada unidad de suelo provocada por su especialización pedogénica. Por otra parte el tamizado en húmedo presentó un comportamiento similar con excepción de la fracción de 1mm que no mostró cambios significativos en los suelos. Luego se determinaron los coeficientes de estabilidad en el tamizado en seco (Kes) y en húmedo (Keh) para cada tratamiento en estudio. Los valores alcanzados se muestran en la Figura 4, en la que se puede ver que la resistencia física de los agregados mejora significativamente con aplicación de pulpa. El suelo PSm presentó los valores más adecuados de resistencia para ambas pruebas en los dos tratamientos en estudio.

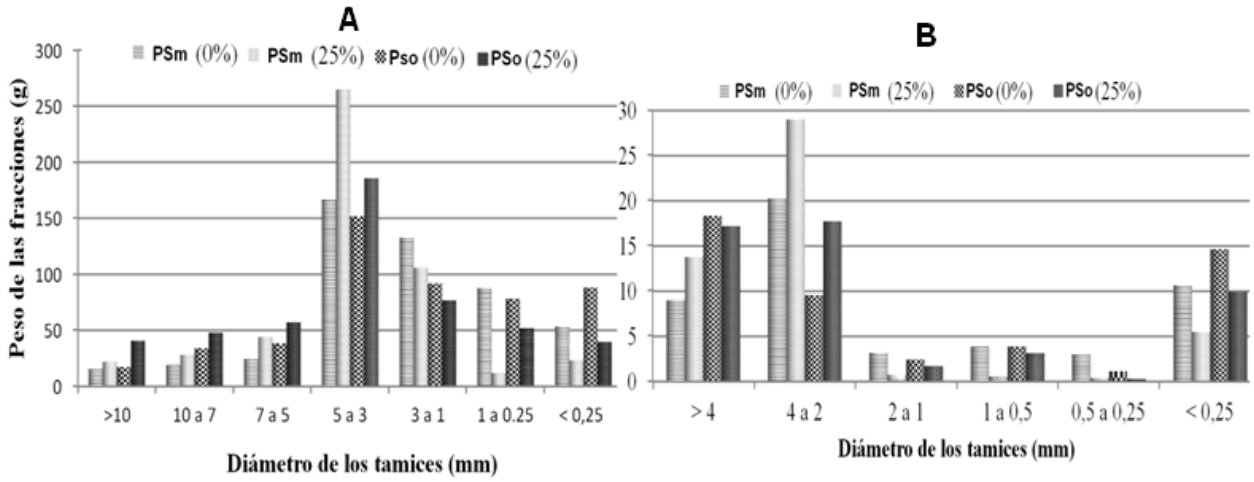

Figura 3. Distribución de agregados en el tamizado en seco (A) y húmedo (B) para los suelos en estudio.

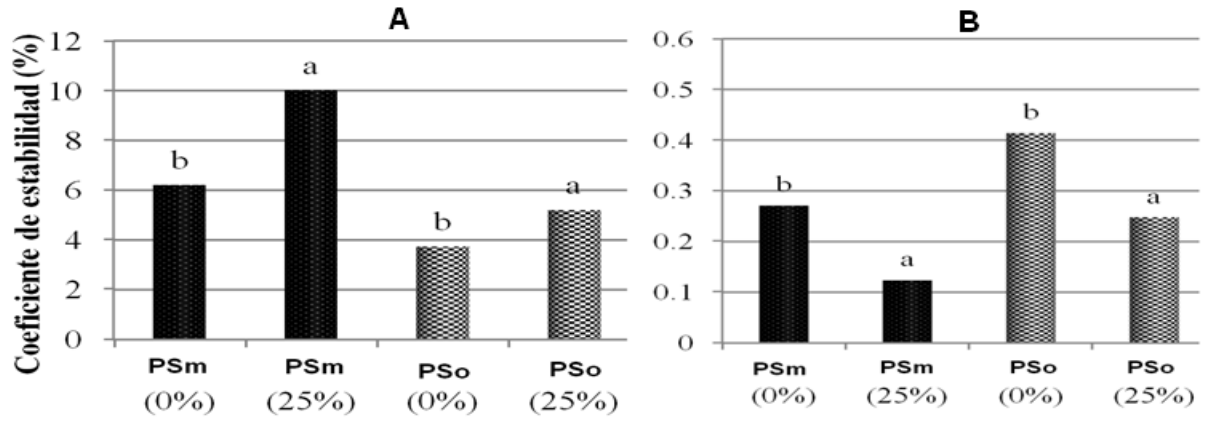

Figura 4. Análisis de estabilidad estructural de los agregados en el tamizado en seco (A) y húmedo (B).

Por otra parte, en la Figura 5, se muestra el índice de peso promedio de agregados ponderado por diámetro (MWD), que al comparar los edafones el suelo PSm mostró el mayor aumento del peso de los agregados. Esto indica que la estructura se va destruyendo a medida que aumenta la intensidad de laboreo, y los suelos que presentan una estructura menos perturbada poseen mayor capacidad de respuesta ante una práctica agrícola de mejora.

De esta manera la estructura de cada uno de los suelos en estudio mejoró y se corrobora la hipótesis de que con la aplicación del compuesto lignocelulósico

se emiten al medio elementos de lenta mineralización que se mantienen estables en el tiempo encargados de dar forma a las estructuras minerales del suelo y construir una masa edáfica con la densidad requerida para mantener un equilibrio entre la fase sólida y las estructuras de vacíos del edafón (Busscher et al., 2010).

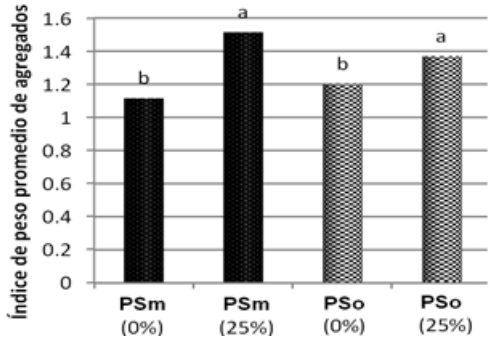

Figura 5. Índice de peso promedio de agregados ponderado por diámetro de los suelos en estudio.

CONCLUSIONES

La aplicación de pulpa de café mejora la sostenibilidad agroecológica del suelo PSo; debido en lo principal, a que esta funge como atributo central capaz de activar los subsistemas que integran al gran sistema suelo.

La pulpa de café libera a los suelos gran cantidad de elementos minerales contenidos en su estructura que son retenidos por el complejo de cambio de los perfiles y propician la mejora de las propiedades químicas de los edafones en estudio, por lo que postula como un material alternativo viable para la fertilización de los suelos montañosos de dicados al cultivo del cafeto.

Desde el punto de vista biológico, se incrementa significativamente las UFC de hongos y actinomicetos que estabilizan las pérdidas de carbono respiratorio en valores similares a los del control. La tasa mineralización se reduce de forma significativa, debido a la relación carbono nitrógeno (16:1) y los precursores de las sustancias húmicas de la pulpa (celulosa y lignina). Los indicadores RB, UFC y TM muestran mejores resultados en las unidades de suelos mejores estructuradas (CEH>CE), lo que sugiere que la intensidad de respuesta de la microflora ante la aplicación de pulpa de café va a estar influenciada por las características

físicas y pedogénicas de los perfiles edáficos.

Con la aplicación de la pulpa de café los tres suelos en estudio aumentan la agregación en las fracciones comprendidas entre los diámetros de 3 y 1 mm principalmente. Frente a las pruebas de resistencia física en tamices secos-húmedos y aumento del peso promedio de los agregados, los tratamientos con el compuesto lignocelulósico evidencian los mejores valores al disminuir los contenidos de partículas menores de 0,25 mm y aumentar el peso promedio de las fracciones agronómicamente útiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, T., &Domsch, K. (1990). Application of ecophysiological quotients (qCO2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol Biochem*, *22*, 251-255.

Busscher, W. J., Novak, J. M., Evans, D. E., Watts, D. W., Niandou, M. A. S., & Ahmedna, M. (2010). Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. *Soil Science*, *175*(1), 10–14. http://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181cb7f46

Escobar, N., Mora, J., & Romero, N. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, *16*(1), 75 - 88.

Flores, A., Izquierdo, M., & Manzanares, P. (2011). Efectos de la combinación de abonos orgánicos y fertilizante químico sobre la densidad aparente y el espacio poroso total de un suelo volcánico nicaragüense. *La Calera*, *4*(4), 18–22.

Gil, S. (2008). Importancia del análisis del suelo de su Cafetal. Conozca y ahorre dinero en la fertilización, analizando el suelo de su cafetal. Recuperado 17 de enero de 2013, a partir de http://www.procafe.com.sv/menu/publicafe/SerieDCn1.htm

Hernández, A. ., Pérez, J. ., Bosch, D. ., Rivero, L. ., & Camacho, E. . (1999). *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.* (L. Barcaz, Ed.) (1.ª ed.). Ciudad de La Habana, Cuba: AGRINFOR.

Hernández, J. A., Bojórguez, S. J. I., Morell, P. F., Cabrera, R. A.,

Ascanio, G. M. O., García, P. J. D., Nájera, G. O. (2010). *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales*. Univ. Autónoma de Nayarit. Recuperado a partir de http://books.google.com.cu/books/about/Fundamentos_de_la_estructura_de_suelos_t.html?id=UZE6_MK79eoC&redir_esc=y

Jordán, A., Zavala, L. M., & Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, *81*(1), 77–85. http://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007

Mesa, A., & Naranjo, M. (1984). *Manual de Interpretación de los Suelos*. (N. Collaso, Ed.). Cuba: Científico-Técnica.

Sadeghian, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo* (grado científico de Doctorado en Ciencias Agropecuarias – Área Agraria). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.