

ARTÍCULO ORIGINAL

Efecto de la pulpa de *Coffea arabica* L. sobre la microflora de tres unidades de suelos

Rafael Cervantes Beyra^I, Iván Castro-Lizazo^I, María Aurora Mesa Pérez^I,
Arturo Ocampo Ramírez^{II}, Daybelis Fernández Valdés^I; Dayvis Fernández Valdés^{II}

^IUniversidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Cuba. Correo electrónico: cervantes@unah.edu.cu;

^{II}Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

RESUMEN: La pulpa de *Coffea arabica* L. (café) constituye el principal agente contaminante de los ecosistemas cafetaleros de Cuba. En los últimos años se ha empleado por algunos agricultores como alternativa orgánica para mejorar determinadas condiciones edáficas, pero sin conocer las implicaciones biológicas directas que ejerce en el suelo; por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de pulpa de *Coffea arabica* L. en proporción 3:1 (75% suelo: 25% pulpa de café) sobre la microflora de un Acrisol Alúmico Crómico (AAC), un Cambisol Éutrico Húmico (CEH) y un Cambisol Éutrico (CE). Para alcanzar el objetivo se determinaron las variaciones de la actividad de los microorganismos utilizando como indicadores la respiración basal edáfica (RB), el conteo de los principales grupos funcionales (UFC) y la tasa de mineralización (TM). Como resultado, se incrementó significativamente las UFC de hongos y actinomicetos que estabilizaron las pérdidas de carbono respiratorio en valores similares a los del control. La tasa de mineralización se redujo de forma significativa, debido a la relación carbono nitrógeno (16:1) y los precursores de las sustancias húmicas de la pulpa (celulosa y lignina), que aseguraron la permanencia de los compuestos orgánicos en el medio. Los indicadores RB, UFC y TM mostraron mejores resultados en las unidades de suelos mejores estructuradas (CEH>CE>AAC), lo que sugiere que la intensidad de respuesta de la microflora ante la aplicación de pulpa de café estará influenciada por las características físicas y pedogénicas de los perfiles edáficos.

Palabras clave: microflora edáfica, pulpa de café, unidades de suelos.

Effect of the pulp of *Coffea arabica* L. on the microflora of three units of soils

ABSTRACT: The pulp of *Coffea arabica* L. (coffee) is the main polluting agent of the Cuban mountain ecosystems. In the last years, it has been used by some farmers as an organic alternative to improve certain soil conditions but with no knowledge of its direct biological implications on the soil. Therefore, the objective of this investigation was to evaluate the effect of coffee pulp application in a 3:1 ratio (75% soil: 25% coffee pulp) on the microorganisms of the soils Aluminic Chromic Acrisol (AAC), Humic Eutric Cambisol (CEH), and Eutric Cambisol (CE). The soil basal respiration (BR), the main functional groups (CFU), and the mineralization rate (MR) were determined as indicators of variations of the microorganism activity. The results showed significantly increases of the CFUs of fungi and actinomycetes stabilizing the losses of respiratory carbon in values similar to the control. The mineralization rate decreased significantly due to the carbon nitrogen ratio (16:1) and the humic substance precursors of the pulp (cellulose and lignin), which assured the permanence of the organic compounds in the soil. The indicators BR, FCU and MR showed better results in the best structured soil units (CEH>CE>AAC) suggesting that the intensity of response of the microorganisms to coffee pulp applications will be influenced by the physical and pedogenic characteristics of the edaphic profile.

Key words: coffee pulp, soil microorganisms, soil units.

INTRODUCCIÓN

La pulpa de café es el principal contaminante sólido de la industria cafetalera nacional. En la cosecha 2010-2011 se estimó que se produjeron más de 4 800 t de residuos sólidos para una producción de 6000 t del grano (1), lo que representó una fuente de peligro potencial para la contaminación, si se tiene en cuenta que los lugares de producción son montañosos y por las precipitaciones pueden ser trasladados a través de suelos y ríos.

La pulpa de café presente en embalses, en grandes cantidades, provoca un aumento de la demanda bioquímica de oxígeno, disminución del pH así como la presencia de sólidos en suspensión que limitan la penetración de la luz solar y afectan la calidad del agua (2). Para el caso de los suelos, la afectación no es menor. Los fenoles y polifenoles constituyentes de la pulpa son sustancias tóxicas para la mayoría de las especies de artrópodos y microorganismos. Un alto contenido de pulpa de café en los suelos puede afectar las poblaciones de la microflora edáfica, donde los hongos acidófilos son los principales microorganismos que metabolizan todo ese volumen de materia orgánica (3).

Bajo estas circunstancias es necesario hallar una aplicación para este tipo de producto proveniente de los mismos cafetales, que ayude a cerrar el ciclo biológico y proveer a los suelos de un compuesto bifuncional, que en relación armónica con la fauna edáfica, dé fertilidad y estructura.

En este sentido, un alto por ciento de los constituyentes de la microflora edáfica proviene de la materia orgánica que aporta los nutrientes necesarios para su nutrición (4). Al aumentar los tenores de materia orgánica en los perfiles de suelos, aumenta de forma exponencial el desarrollo y la actividad edáfica indicativa de su estado de sostenibilidad; por lo que la masa microbiana es mayor en los suelos tratados con insumos orgánicos que los manejados de forma convencional (5).

Es por ello que la microflora del suelo tiene función central en la incorporación de productos vegetales en los edafones y, a la vez, es sensible a los cambios y alteraciones (6); por tanto, puede ser utilizada como un indicador a la hora de evaluar el estado ecológico de un suelo al aplicar un material alternativo (7,8,9).

En correspondencia con lo anterior, la respiración basal edáfica, el número poblacional de los principales grupos funcionales y la tasa de mineralización han sido enfocados como indicadores básicos que describen la actividad edáfica (10). Ellos ofrecen una idea precisa

del comportamiento, estado y ritmo de las poblaciones microbianas, ya que son sensibles a los cambios naturales y antrópicos en cortos periodos de tiempo, lo que nos permite discriminar entre prácticas de manejo e incorporación de productos orgánicos en los suelos (11).

No obstante, se desconoce el efecto que ejerce la pulpa de café sobre los estados ecológicos y la microflora de los suelos montañosos. Esta es la razón principal por la que su utilización se encuentre limitada y aún persista el problema medioambiental que provoca su producción; por ello, el objetivo de este trabajo es determinar el efecto de la aplicación de pulpa de *Coffea arabica* L. en proporción 3:1 (75 % suelo: 25% pulpa de café) sobre la microflora de un Acrisol Alúmico Crómico, un Cambisol Éutrico Húmico y un Cambisol Éutrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en tres unidades de suelos del macizo montañoso Guamahaya, localizado en la parte sureste 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, donde los factores en estudio fueron la pulpa de café y el tipo de suelo. 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 los factores en estudio fueron los únicos que provocaron las variaciones; el resto de las condiciones se mantuvieron constantes.

Los tratamientos o niveles fueron seis (Tabla 1) y la dosis escogida fue 3:1 (75 % suelo: 25% pulpa de café) (12,13), 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 (14).

Los suelos en estudios se clasifican según la World Reference Base (WRB) Acrisol Alúmico Crómico (AAC), Cambisol Éutrico Húmico (CEH) y Cambisol Éutrico (CE) (15). El material vegetal utilizado se obtuvo de la despulpadora «Cuatro Vientos» ubicada en el propio macizo montañoso y el cultivar de café fue «Isla Azul». La composición química del tejido vegetal utilizado se presenta en la Tabla 2.

TABLA 1. Tratamientos utilizados en el diseño bifactorial./ *Treatments used in a bifactorial design.*

Factores/Tratamientos		Tipo de Suelo		
		CE	AAC	CEH
Pulpa de Café	Sin pulpa de café	T ₁	T ₂	T ₃
	25% de pulpa de café	T ₄	T ₅	T ₆

TABLA 2. Composición química en masa seca para 0,25 g (N, P y K) y 1 g (Ca y Mg) de pulpa de café utilizada (16)./ *Chemical composition in the dried mass for 0,25 g (N, P, and K) and 1 g (Ca y Mg) of the coffee pulp used.*

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

El muestreo se realizó en dos momentos comprendidos entre los años 2010 y 2011 (17), buscando la máxima integración de la pulpa de café (18). 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, 5ha y 6ha para los suelos CE, AAC y CEH, respectivamente, según las dimensiones ya establecidas

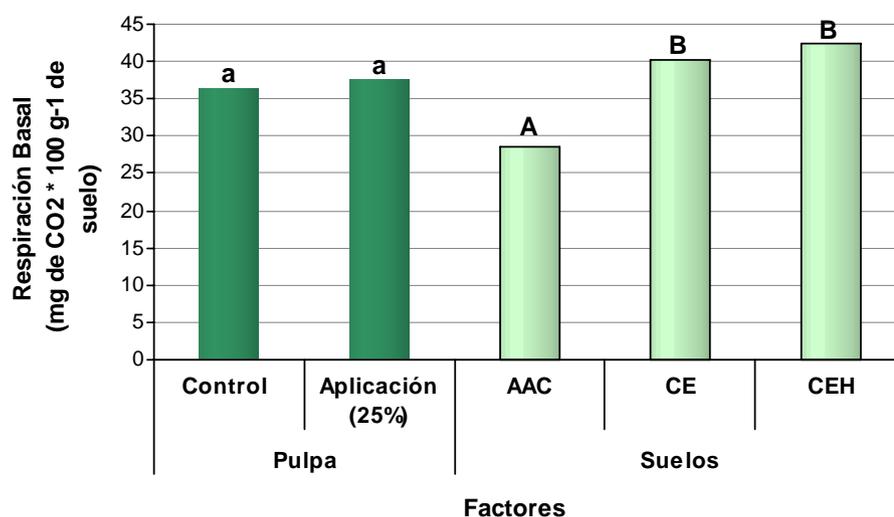
en estos campos. Las variables «respuestas» medidas en cada uno de los análisis estaban constituidas por: respiración basal edáfica (RB) (19), conteo de los principales grupos funcionales (UFC) (20) y tasa de mineralización (TM) (21).

Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS *Plus* para Windows 5,1 (22). 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 el 95% de intervalo de confianza de la prueba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al aplicar la pulpa de café a los diferentes tipos de suelos, se pudo constatar que para el caso de la RB, el factor pulpa de café no presentó diferencia estadísticamente significativa entre los dos niveles estudiados ($p=0,104$); a pesar de que manifestó un aumento de más de una unidad. Sin embargo, entre los suelos se evidenció una marcada y significativa variación de los tenores respiratorios entre CE, CEH y AAC, indicativo de la diferenciación pedogénica y del manejo que estos presentan (Fig. 1).

La baja diferenciación respiratoria entre los tratamientos del factor pulpa de café indicó que la actividad edáfica no se presentó de forma degradativa en la concentración estudiada, por lo que la acción mineralizadora de las comunidades microbianas se



*Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0,05$)

FIGURA 1. Valores promedios de la respiración basal para cada factor en los niveles estudiados./ *Average values of the basal respiration for each factor in the studied levels.*

mantuvo estable sobre una parte de la pulpa adicionada y no pasó al carbono de reserva retenido dentro de la estructura del suelo. Tal resultado se considera favorable, sobre todo para estos edafones montañosos, pues la estabilización de la tasa respiratoria provoca que gran parte de los compuestos orgánicos de la pulpa pasen a formar parte de la reserva de la materia orgánica del suelo e impide que se incrementen las pérdidas de carbono en forma de CO₂.

Ello pudo haber ocurrido, en primer lugar, por la relación C: N (16:1) y la composición lignocelulósica que presenta el material estudiado (23). Dicha proporción hace que la descomposición del producto se realice lentamente, determinada en gran medida por la presencia de compuestos carbonados complejos (lignina y celulosa) que limitan la actividad mineralizadora (24). En segundo lugar, la descomposición de la pulpa pudo estar determinada, principalmente, por morfotipos de alta eficiencia (hongos y actinomicetos) que en su acción economizan sus gastos metabólicos y liberan menor cantidad de carbono en forma de CO₂ a la atmósfera (25).

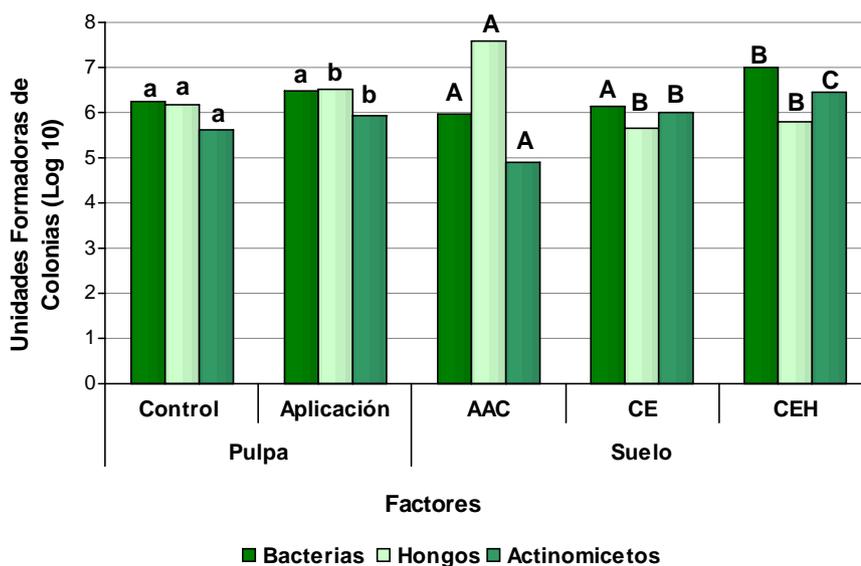
Por otra parte, con respecto al factor suelos, los tres niveles en estudio manifestaron diferenciación, aunque el AAC fue el que difirió significativamente del resto. Lo anterior sucede porque presentan características y propiedades pedogénicas diferentes que determinan el desarrollo edáfico, como es el caso de la acidez cambiante que presenta el suelo AAC, la cual

puede tener una fuerte correlación negativa ($r = -0,85$) con la emisión de CO₂ (26).

En este sentido, se ha encontrado que existe diferencia significativa de la RB entre suelos con diferentes tenores de materia orgánica (27); esta resulta más elevada en los edafones con mayor contenido de carbono, ya que presentan una correlación positiva y significativa entre la respiración y el carbono orgánico total ($r = 0,77$; $p < 0,05$) (10).

Muy relacionado con la respiración de los suelos se encuentra el número poblacional de los microorganismos que lo habitan, quienes liberan CO₂ en la descomposición de los diferentes sustratos (28). En la Fig. 2 se muestran los valores poblacionales de los principales grupos funcionales para los factores en estudio y en ella se puede observar que con la aplicación de pulpa de café, las unidades formadoras de colonias que manifestaron incrementos significativos fueron las de mayor eficiencia metabólica (hongos y actinomicetos), mientras que entre los suelos la diferencia de grupos funcionales fue más acentuada, tal como se presumió en los resultados obtenidos en el análisis de respiración.

Al aplicar la pulpa de café, las poblaciones de bacterias que emiten mayor cantidad de CO₂ durante la mineralización, no experimentaron un incremento significativo, tal como lo evidenciaron los hongos y actinomicetos. Esto se pudo deber a que las bacterias son sensibles a la disminución de la reacción del sue-



*Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0,05$)

FIGURA 2. Valores promedios de las unidades formadoras de colonias para cada factor en los niveles estudiados./ *Average values of the main functional groups for each factor in the studied levels.*

lo y, por tanto, la hidrólisis ácida que experimenta la pulpa de café ($\text{pH}_{\text{pulpa}}=4,4$) limitó el desarrollo de sus poblaciones.

En cambio, los hongos se desarrollan con preferencia en medios ácidos y son capaces de degradar compuestos orgánicos complejos como la lignina, celulosa y peptidoglicanos, por lo que contribuyen a la mineralización de estos compuestos en el suelo y al incremento de sus comunidades (29). Los actinomicetos se desarrollan, principalmente, en suelos ligeramente alcalinos, pero como son degradadores secundarios, elevan sus poblaciones en un momento posterior a la descomposición inicial cuando el pH se ha equilibrado. De esta forma pueden actuar y multiplicarse (30).

Se mostraron resultados similares en un estudio que pretendía identificar las poblaciones microbianas en residuos orgánicos de la industria cafetalera, entre los que se encontraba la pulpa de café, y se halló que existía mayor diversidad y abundancia de microorganismos en las mezclas respecto a los sustratos simples, donde predominaban las especies del género *Streptomyces* (actinomicetos) y *Aspergillus* y *Penicillium* (hongos) (29).

Por otra parte, en otra investigación donde se caracterizó una serie de materiales alternativos en la elaboración de sustratos entre los que se encontraba la pulpa de café, se obtuvo que las medias de las unidades formadoras de colonias para las bacterias, hongos y actinomicetos fueron de 7,45; 7,56 y 4,96 $\text{Log}_{10}\text{UFC}$, respectivamente (31), semejantes a las alcanzadas en esta investigación (6,46 $\text{Log}_{10}\text{UFC}$ para bacterias; 6,5 $\text{Log}_{10}\text{UFC}$ para hongos y 5,91 $\text{Log}_{10}\text{UFC}$ para actinomicetos).

Estos valores poblacionales indican que el compuesto utilizado (pulpa de café) clasifica como un material potencial en la mejora de las condiciones biológicas de los suelos, ya que la cantidad óptima de UFC de los materiales alternativos para las bacterias debe estar entre 6 y 8 $\text{Log}_{10}\text{UFC}$, para los hongos entre 4 y 6 $\text{Log}_{10}\text{UFC}$ y para los actinomicetos entre 5 y 8 $\text{Log}_{10}\text{UFC}$ (31).

La diferenciación entre los niveles de UFC para el factor suelos fue más marcada que en el caso de la pulpa de café. Las bacterias y los actinomicetos, que son más demandantes de condiciones químicas y físicas favorables (25,32), se manifiestan significativamente por encima en el suelo CEH respecto a los suelos CE y AAC, mientras que los hongos en el perfil AAC presentaron tenores poblacionales significativamente superior al de los suelos CE y CEH, ya que son los

microorganismos más resistentes y, por tanto, ganan terreno en los escenarios degradados y con presencia de factores limitantes como el pH (33).

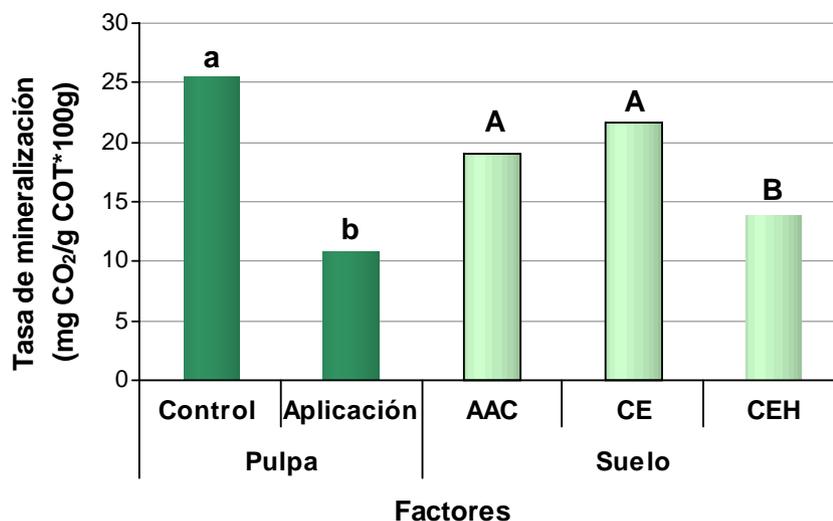
Se ha constatado en estudios sobre el efecto de diferentes prácticas de manejo, sobre parámetros microbiológicos en suelos cafetaleros, que la forma de uso de los campos determina las propiedades pedogénicas. Esto afecta de manera significativa los indicadores de desarrollo de las micropoblaciones, donde las condiciones más favorables se evidencian en los edafones de mejores propiedades físicas (34).

Otros estudios sugieren que la resistencia y la permanencia de la composición de las comunidades microbianas están determinadas por la estructura físico-química de los suelos, que es la que refleja los disturbios que se producen durante el uso de las tierras (35). La estabilidad de las comunidades microbianas es un resultado de la combinación de las características bióticas y abióticas de los edafones, por lo que ofrecen una medida cuantitativa de la salud de los diferentes tipos suelos (36).

Es válido señalar que el aporte orgánico debe hacerse con prudencia debido a que la multiplicación poblacional aumenta la tasa de mineralización y, una vez acabado el residuo vegetal, se puede extender al carbono de reserva que forma parte de los agregados del suelo, lo que ocasiona pérdida de la estructura edáfica (37). En la Fig. 3 se puede observar que para el factor pulpa la mineralización disminuyó de manera significativa con la aplicación del residuo vegetal; en tanto, para el tipo de suelo la TM fue menor en el perfil CEH que en los edafones AAC y CE.

La disminución de la TM frente a la adición de la pulpa de café está relacionada con la propia naturaleza del tejido vegetal. El compuesto tiene altos contenidos de lignina y celulosa en su estructura química que lo convierte en un residuo estable dentro del medio edáfico; además, presenta un pH de 4,4 y elementos tóxicos como fenoles que provocan que su hidrólisis sea más lenta y específica para determinados grupos de microorganismos como los hongos. También, la relación carbono-nitrógeno de la pulpa de café (16:1) ayuda en este proceso, porque este valor no condiciona inmovilización de los nitratos ni tampoco permite la multiplicación acelerada de la microfauna responsable de la mineralización de los residuos orgánicos (16).

Por otra parte, la baja TM del suelo CEH, respecto a los otros dos edafones en estudio, está relacionada con la alta condensación de la materia orgánica presente en este perfil poco perturbado ($E_{465}/E_{665}=4,22\text{nm}$), la cual impide que la acción descomponedora de la



*Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0,05$)

FIGURA 3. Valores promedio de la tasa de mineralización para cada factor en los niveles estudiados./ Average values of the mineralization rate for each factor in the studied levels.

microfauna edáfica transforme estos compuestos en elementos de menor complejidad química. Sin embargo, en los perfiles CE y AAC hay predominio de elementos orgánicos solubles de baja condensación ($E_{465}/E_{665}=7.39$ nm y 8.19 nm, respectivamente); por tanto, la acción mineralizadora de la microflora es más intensa aunque presente menores contenidos de materia orgánica (16).

Los resultados alcanzados con el factor pulpa de café se consideran favorables, sobre todo para los perfiles CE y AAC principalmente, ya que estos necesitan compuestos que no se descompongan con facilidad y, por el contrario, prevalezcan el mayor tiempo posible dentro de la estructura del perfil para mejorar los atributos que le confieren mejor arreglo y estabilidad a la fase sólida.

Las investigaciones similares a la realizada han demostrado que la tasa de descomposición y liberación de nutrientes al suelo está determinada por la calidad del carbono que forma la materia orgánica y las proporciones que presente de celulosa, hemicelulosa y lignina. La cantidad de material vegetal, su composición y propiedades son de esencial análisis en la utilización de un compuesto orgánico debido a que controlan la dirección y velocidad de los procesos de descomposición y mineralización (38).

También se ha encontrado que los suelos mejor estructurados presentan agregados de mayor tamaño

y estabilidad, y experimentan menor variación de los valores de emisión de CO₂ respecto a los agregados de menor complejidad pertenecientes a suelos de estructura más deficiente. Por consiguiente, el cociente respiratorio (TM) en este primer grupo tiende a ser constante e inferior a los perfiles más erosionados (39,40).

CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados muestran que la pulpa de café al 25% clasifica como un compuesto mejorador de las propiedades microbiológicas de los suelos AAC, CEH y CE dedicados al cultivo del café. Su adición incrementó significativamente los microorganismos de alta eficiencia metabólica (hongos y actinomicetos) que estabilizaron las pérdidas de carbono respiratorio (CO₂) en valores similares a los del control. La tasa mineralización se redujo de forma significativa, lo que indica que la relación carbono nitrógeno (16:1) y los precursores de las sustancias húmicas presentes en la pulpa (celulosa y lignina) ejercieron resistencia a la degradación microbiana y aseguraron la permanencia de los compuestos orgánicos en el medio. Los indicadores RB, UFC y TM muestran resultados más favorables en las unidades de suelos con mejor estructura (CEH>CE>AAC), 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.

REFERENCIAS

1. Alemán A. Las inversiones en el sector cafetalero, sin resultados [Internet]. Diario de Cuba. 2012 [cited 2014 Apr 28]. Available from: <http://www.diariodecuba.com/cuba/4030-las-inversiones-en-el-sector-cafetalero-sin-resultados>.
2. Savigne D, Romanovski O. Impacto de los residuales del beneficio húmedo del café en la provincia Guantánamo, Cuba. Cuba: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS); 2008.
3. Blagodatskaya E, Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013;67:192-211.
4. Chávez MBH. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. 2013 Apr 16 [cited 2013 Apr 16]; Available from: <http://biblioteca.ihatuey.cu/links/pdf/tesis/tesis/saraysanchez.pdf>.
5. Bowles TM, Acosta-Martínez V, Calderón F, Jackson LE. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014;68:252-262.
6. Zhang H, Li G, Song X, Yang D, Li Y, Qiao J, et al. Changes in soil microbial functional diversity under different vegetation restoration patterns for Hulunbeier Sandy Land. *Acta Ecologica Sinica*. 2013;33(1):38-44.
7. Blagodatskaya E, Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013;67:192-211.
8. Cluzeau D, Guernion M, Chaussod R, Martin-Laurent F, Villenave C, Cortet J, et al. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *European Journal of Soil Biology*. 2012;49(0):63-72.
9. Capelle C van, Schrader S, Brunotte J. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota - A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*. 2012;50:165-181.
10. Sánchez B, Ruiz M, Ríos M. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical*. 2005;55:507-534.
11. Zhang H, Li G, Song X, Yang D, Li Y, Qiao J, et al. Changes in soil microbial functional diversity under different vegetation restoration patterns for Hulunbeier Sandy Land. *Acta Ecologica Sinica*. 2013;33(1):38-44.
12. Salazar A. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almacigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*. 1992;178(1-2).
13. Salamanca J, Sadechian K. Almacigo de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. *Cenicafé*. 2008;52(2):91-102.
14. Mestre M. Utilización de la pulpa en almacigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*. 1973;28(1-2).
15. IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. 2nd ed. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2006. 128 p.
16. Cervantes BR, Castro LI, Cabrera AJR, Fernández VD, Fernández VD. Efecto de la pulpa de cafeto (*Coffea arabica* L.) variedad arábica sobre propiedades químicas de tres suelos del macizo montañoso Guamuhaya. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2014;23(3):17-21.
17. Oficina Nacional de Normalización. Calidad del suelo. Muestreo. Cuba; NC 36: 2009, 2009.
18. Díaz M, Prada P, Mondragon M. Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Ciencias Biomédicas*. 2010;8(14):213-219.
19. Fereidooni M, Raiesi F, Fallah S. Ecological restoration of soil respiration, microbial biomass and enzyme activities through broiler litter application in a calcareous soil cropped with silage maize. *Ecological Engineering*. 2013;58(0):266-277.

- 20.Griffiths BS, Philippot L. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. *FEMS Microbiology Reviews*. 2013;37(2):112-129.
- 21.Anderson T, Domsch K. Carbon assimilation and microbial activity in soil. *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde*. 1986;149:457-486.
- 22.STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1. 1994.
- 23.López-González JA, López MJ, Vargas-García MC, Suárez-Estrella F, Jurado M, Moreno J. Tracking organic matter and microbiota dynamics during the stages of lignocellulosic waste composting. *Bioresource Technology*. 2013;146:574-584.
- 24.Anderson T, Domsch K. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol Biochem*. 1990;22:251-255.
- 25.Insam H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? *Soil Biol Biochem*. 1990;22:525-532.
- 26.Mogollón J, Martínez A. Variation of soil biological activity in an altitudinal transect of la sierra de San Luis, Falcon state. *Agronomía Tropical*. 2009;59(4):469-79.
- 27.Umer MI, Rajab SM. Correlation between aggregate stability and microbiological activity in two Russian soil types. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2012;(1):45-50.
- 28.Ashman MR, Hallett PD, Brookes PC. Are the links between soil aggregate size class, soil organic matter and respiration rate artefacts of the fractionation procedure? *Soil Biology and Biochemistry*. 2003 Mar;35(3):435-444.
- 29.Escobar N, Mora J, Romero N. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural*. 2012;16(1):75-88.
- 30.Mayea S, Carone M, Boado I, Silveira E, Soria M, Morales Y, et al. *Microbiología agropecuaria*. La Habana, Cuba. Editorial Félix Varela; 1997. 283 p.
- 31.Avilés E, Pérez A, Almonte I, López G, Martínez C, Núñez P. Caracterización de materiales alternativos en la elaboración de sustratos para la producción en invernaderos. *Proceedings of the Caribbean Food Crops Society*. 2010;46:73-80.
- 32.Preem J-K, Truu J, Truu M, Mander Ü, Oopkaup K, Lõhmus K, et al. Bacterial community structure and its relationship to soil physico-chemical characteristics in alder stands with different management histories. *Ecological Engineering*. 2012;49(0):10-17.
- 33.Kihara J, Martius C, Bationo A, Thuita M, Lesueur D, Herrmann L, et al. Soil aggregation and total diversity of bacteria and fungi in various tillage systems of sub-humid and semi-arid Kenya. *Applied Soil Ecology*. 2012;58:12-20.
- 34.Chavarría N, Tapia A, Soto G, Filho M. Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *INTERSEDES*. 2012;13(26):85-105.
- 35.Nunes JS, Araujo ASF, Nunes L, Lima LM, Carneiro RFV, Salviano AAC, et al. Impact of land degradation on soil microbial biomass and activity in Northeast Brazil. *Pedosphere*. 2012;22(1):88-95.
- 36.Griffiths BS, Philippot L. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. *FEMS Microbiology Reviews*. 2013;37(2):112-129.
- 37.Helgason BL, Walley FL, Germida JJ. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. *Appl Soil Ecol*. 2010;46(3):390-397.
- 38.Cayuela ML, Sinicco T, Mondini C. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. *applied soil ecology*. 2009;41:118-27.
- 39.Pimentel MS, De-Polli H, Aquino AM de, Correia MEF, Rouws JRC. Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2011;46(5):545-552.
- 40.Caesar-TonThat T, Lenssen AW, Caesar AJ, Sainju UM, Gaskin JF. Effects of tillage on microbial populations associated to soil aggregation in dryland spring wheat system. *European Journal of Soil Biology*. 2010;46(2):119-127.

Recibido: 16-6-2014.
Aceptado: 5-2-2015.