

Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pasto y Aguacate

The Macroinvertebrates as Indicators of the Quality of Soil in Blackberry, Grass and Avocado Crops

Santiago Rendón Pareja¹; Fermín Artunduaga Lemus²; Ramiro Ramírez Pisco³; Jhon Alveiro Quiroz Gamboa⁴ y Edna Ivonne Leiva Rojas⁵

Resumen. El estado de las propiedades dinámicas del suelo, tales como el contenido de la materia orgánica, la diversidad de organismos, o los productos microbianos en un tiempo particular, permiten inferir sobre la calidad del suelo. Los indicadores disponibles para evaluarla, pueden variar entre localidades, dependiendo del tipo y uso del suelo, función y factores de formación del mismo. Los invertebrados se pueden constituir en indicadores de la calidad de un suelo, dado que juegan un papel vital en los procesos de ciclaje de nutrientes; además, su diversidad, número y funciones son sensibles al cambio ambiental en las condiciones del suelo, asociadas con actividades propias en los agroecosistemas. Con el propósito de cualificar la calidad del suelo en varios sistemas productivos, se evaluó la presencia de macroinvertebrados en cultivos de mora, pasto y aguacate, empleando para el muestreo la técnica del monolito propuesto por Instituto de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales (TSBF) y luego se procedió a identificarlos a nivel de familia. La mayor cantidad de macroinvertebrados se encontró en los primeros 10 cm, siendo el cultivo de mora el que registró la mayor diversidad.

Palabras clave: Fertilidad, desarrollo sustentable, salud del suelo, índices bióticos.

Abstract. The state of soil dynamic properties, such as organic matter content, diversity of organisms, or microbial products in a particular time, allow to infer about soil quality. The indicators available to evaluate, may vary among locations, depending on the type and land use, function and factors of formation. Invertebrates can be indicators of soil quality, as they play a vital role in nutrient cycling processes, furthermore, their diversity, number and functions are sensitive to environmental change in soil conditions associated with activities own in agroecosystems. In order to qualify the quality of soil in various production systems was evaluated the macroinvertebrates presence in mulberry, pasture and avocado crops, using the monolith sampling technique proposed by Tropical Soil Biology and Fertility Institute (TSBF). Specimens were identified at family level and majority found 10 cm in depth. Soils with mulberry crop, displayed the higher diversity.

Key words: Fertility, sustainable environment, soil health, biotic indices.

La macrofauna del suelo poco es considerada al momento de establecer las diferentes prácticas agrícolas; no obstante, puede ser afectada por el impacto que ocasiona la labranza y el uso de insumos químicos, condición que se refleja en la reducción o eliminación de especies y en la disminución de la biomasa de estas poblaciones; dada la susceptibilidad a ser afectada por dichas prácticas, la macrofauna se ha establecido como un indicador de la calidad de los suelos (Feijoo y Knapp, 1998; Wood, 1978).

De hecho diversos autores proponen que una diversidad de taxas, o algunos grupos dominantes, pueden revelar

información sobre la calidad del suelo (Klemens *et al.*, 2003) y sugieren también a los macroinvertebrados como proveedores de servicios ambientales, por ejemplo, contribuyen en el secuestro de carbono en el suelo (Lavelle *et al.*, 2006; Brussard *et al.*, 2007), en la transformación de la hojarasca, aireación del suelo y formación de estructura (Lavelle, 1996).

Los macroinvertebrados (lombrices, termitas y hormigas), son denominados los ingenieros del ecosistema, con efectos directos sobre las propiedades del suelo y procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (Lal, 1988; Jones *et al.*, 1994).

¹ Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <rendon@unal.edu.co>

² Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <fartund@unal.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín. Facultad de Ciencias. Escuela de Geociencias. A.A. 3840. Medellín, Colombia. <r Ramirez@unal.edu.co>

⁴ Técnico Operativo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. Museo Entomológico Francisco Luís Gallego (MEFLG). A.A. 3840. <mentomol_med@unal.edu.co>

⁵ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <eileiva@unal.edu.co>

Recibido: Agosto 03 de 2010; Aceptado: Febrero 17 de 2011.

Sus actividades se realizan a una escala de cm a dm y junto con las raíces, determinan la arquitectura del suelo a través de la acumulación de agregados y poros de diferente tamaño (Lavelle *et al.*, 2006), lo que repercute en la estructura del suelo (Blanchart *et al.*, 1997) y en la fertilidad del mismo. Por otra parte, el estado de las propiedades dinámicas del suelo, como son el contenido de materia orgánica, la diversidad de organismos, o los productos microbianos en un tiempo particular permiten establecer la salud del suelo (Romig *et al.*, 1995).

Como indicadores de la calidad del suelo pueden ser empleadas las propiedades físicas, químicas, biológicas y/o procesos que ocurren en él (Soil Quality Institute, 1996). Éstos pueden variar de una localidad a otra dependiendo del tipo, uso, función y de los factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992).

Los invertebrados pueden ser considerados como indicadores de la calidad del suelo debido a que su diversidad, su número y sus funciones son sensibles al estrés y al cambio ambiental en las condiciones del suelo, asociados a la labranza, la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, las quemadas, la tala y otras actividades realizadas en los sistemas de cultivo (Blair *et al.*, 1996).

Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y los subproductos de los macroinvertebrados (Karlen *et al.*, 1997). Los macroinvertebrados rompen, transportan y mezclan el suelo al construir galerías, nidos, sitios de alimentación, túriculos o compartimientos (Villani *et al.*, 1999); afectan procesos de manera directa (incorporación y redistribución de varios materiales) o indirecta (formación de comunidades microbiales, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad, etc.) (Wolters, 2000).

Los macroinvertebrados del suelo desempeñan un papel clave en los procesos que determinan la fertilidad y la estructura física del suelo, regulando así características de disponibilidad de nutrientes para las plantas (Lavelle *et al.*, 1994). La composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados son muy sensibles a las diferentes prácticas de manejo del suelo (Lavelle *et al.*, 1992).

Los macroinvertebrados repartidos en diferentes ecosistemas naturales pueden ser en cada sistema

muy disímiles. Donde una mayor abundancia y diversidad de fauna del suelo puede ayudar a asegurar un eficiente ciclaje de nutrientes y un rápido crecimiento de las plantas (Spain *et al.*, 1992). En particular el manejo en áreas de suelos infértiles, los efectos de los macroinvertebrados en los procesos bióticos son tan intensos en la escala temporal que algunos autores los han denominado ingenieros del ecosistema (Vohland y Schroth, 1999; Lavelle, 1997). Las lombrices son de especial interés dentro de la fauna edáfica por su mayor presencia y biomasa, cumplen un importante papel estructural, ya que sus galerías facilitan el crecimiento de las raíces, sus excrementos retienen agua y contienen importantes nutrientes para las plantas (Ibáñez *et al.*, 2004). En los sistemas tropicales, está demostrado que los macroinvertebrados desempeñan un papel clave en los procesos que determinan la conservación y fertilidad del suelo, al regular la disponibilidad de minerales asimilables por las plantas y favorecer la estructura del suelo, influyendo en las condiciones de vida, la abundancia y composición de otras comunidades del suelo (Feijoo y Knapp, 1998).

Los macroinvertebrados del suelo son importantes reguladores de muchos procesos del ecosistema: tienen efectos positivos en la conservación de la estructura del suelo, actúan sobre el microclima y la aireación; en el movimiento y retención de agua, en el intercambio gaseoso y en las propiedades químicas y nutricionales del mismo, pueden activar o inhibir la función de los microorganismos y están involucrados en la conservación y ciclaje de nutrientes. (Wolters y Ekschmitt, 1997; Lavelle y Spain, 2001). La alta sensibilidad de muchos macroinvertebrados edáficos a perturbaciones también los convierte en buenos indicadores del impacto humano sobre el ambiente (Guinchard y Robert, 1991).

Para Piere (1989) y Etchevers (2000), la fertilidad del suelo es un concepto más amplio, que integra los atributos químicos, físicos y biológicos del suelo. Estos se asocian con su capacidad para producir cosechas sanas y abundantes o sostener una vegetación natural en condiciones cercanas a las óptimas.

Propiedades físicas tales como la estructura, la porosidad y la capacidad de retención de agua, permiten un crecimiento y desarrollo adecuado de las partes subterráneas de las plantas y, en consecuencia, de las aéreas, al evitar algún estrés fisiológico (Astier *et al.*, 2002).

El objetivo de este trabajo fue determinar las poblaciones de macroinvertebrados presentes en el suelo bajo cultivos de mora, pasto y aguacate. Se evaluaron las condiciones físicas y químicas de estos suelos y se identificaron las familias de macroinvertebrados y el número de individuos por cada una.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo del suelo se realizó en cultivos existentes en el Centro de Investigación La Selva (CORPOICA), ubicado a 06°08' Latitud Norte y 75°25' Longitud Oeste, con suelos reportados por Medina (2003), como Andisoles. En cada cultivo se tomaron cuatro muestras a los 0, 15, 30 y 45 días, siguiendo la metodología del International Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF). Para la recolección se empleó, una guía metálica 25 x 25 cm y 30 cm de profundidad (Monolito), la cual fue introducida en el suelo con la ayuda de una pala. Cada monolito se subdividió en tres estratos (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm), y de cada uno se separaron los macroinvertebrados (tamaño >2 mm); los especímenes se depositaron en viales y frascos, para cuerpos endurecidos, con solución de alcohol al 70% y glicerina al 5%, para lombrices formol al 5%. Todas las muestras se identificaron hasta nivel

de familia. Con los datos obtenidos de número total de individuos por familia, se estableció la densidad de población de cada grupo encontrado en cada una de las condiciones de uso y estrato del suelo.

La cuantificación física y química de los suelos se hizo con los siguientes procedimientos: densidad aparente por el método del cilindro de Blake y Hartge descrito por Klute (1982); la estabilidad estructural por el método de De Leenheer y De Boodt (1958), modificado por Acosta *et al.* (2005); la textura por el método de Bouyoucos (1962), el pH por el método de Harris (2009); la materia orgánica por el método de Walkey y Black (1934); el P disponible por el método de Olsen *et al.* (1954); las bases intercambiables Ca, Mg, Na, y K por el método de extracción con acetato de amonio 1N y pH 7.0 Lora (1972) y la capacidad de intercambio catiónico efectiva por el método del IGAC (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH de los suelos correspondió a ligeramente ácido, el contenido de materia orgánica a medio, el contenido de P en pasto y mora se encuentran entre medio y alto, sin embargo en aguacate es bajo (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis químico de suelos, en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

Cultivo	pH	M.O. (%)	Ca	Mg	K	P
			cmol(+)·kg ⁻¹			mg·kg ⁻¹
Pasto	6,4	14,1	17	1,8	0,52	24
Mora	6,1	19,1	18	1,6	0,54	45
Aguacate	6,0	19,1	3,3	0,6	0,45	6

La textura del suelo en pasto y mora fue franco-arenosa y arenosa-franco para aguacate. Siendo predominante la fracción arenosa, entre un 66 y 70%.

La resistencia a la penetración para el pasto fue 3,0 kg·cm⁻², para mora de 2,7 kg·cm⁻² y para aguacate 4,7 kg·cm⁻². La porosidad total para mora, pasto y aguacate en sus tres profundidades esta comprendida entre 79 y 86%, siendo el cultivo de aguacate donde se presentó la mayor porosidad y por lo general disminuyó con la profundidad (Tabla 2).

Entre los macroinvertebrados encontrados en las tres condiciones se destacan tres phylla: Anellida, Arthropoda y Mollusca porque son los más abundantes

en las condiciones de muestreo. En la clase Insecta se encontraron diferentes familias de coleópteros en estado larval y adultos de estos se destacan las Curculionidae, Elateridae, Staphylinidae lo cual está relacionado a lo reportado por Cerón *et al.* (2008).

En los cuatro muestreos efectuados se capturaron principalmente especímenes de la clase Insecta: Formicidae, Larvas de Elateridae y algunos Melolonthidae; en menor número Pentatomidae, Cydnidae, Margarodidae. De la clase Clitellata: Lumbricidae, Gastropoda y Diplopoda. Los insectos catalogados como plagas "larvas de Melolonthidae y Elateridae" se incrementaron, las Lumbricidae que favorecen la aireación del suelo disminuyeron. En

el cultivo de mora se capturó el mayor número de individuos, con un total de 582, luego en pasto 283 y en el aguacate el menor número, 167 de especímenes de macroinvertebrados.

Tabla 2. Análisis físico de Andisoles, en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

Cultivos Profundidad	Pasto			Mora			Aguacate		
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,45	0,481	0,485	0,45	0,51	0,39	0,34	0,46	0,35
Porosidad Total (%)	81	79	84	81	80	80	86	81	85
Estabilidad (DMPH)	3,3	2,5	2,9	1,6	2,1	2,2	2,2	2,2	1,4

Tabla 3. Macroinvertebrados observados en el suelo de cultivos de pasto, mora y aguacate establecidos en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

Macroinvertebrados Orden	Familias	Pasto			Mora			Aguacate		
		0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Coleoptera	Larvas Chrysomelidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Melolonthidae	2	0	0	8	2	1	18	1	0
	Carabidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Ptilodactylidae	1	0	0	6	1	0	0	0	0
	Staphylinidae	0	0	0	2	1	0	4	0	0
	Curculionidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Larvas Elateridae	16	1	1	15	9	0	32	3	0
	Larvas Melolonthidae	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Hemiptera	Pentatomidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Cydnidae	1	0	0	3	0	0	1	0	0
	Margarodidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	Larvas Noctuidae	1	0	0	2	0	0	0	0	0
Himenoptera	Braconidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Dermatera	Dermaptera	0	0	0	1	0	0	2	0	0
Anelidos	Lumbricidae	73	4	7	64	6	7	20	0	0
Molusca	Gastropoda	92	3	0	28	3	0	1	0	0
Miriapodos	Diplopoda	6	0	0	45	17	0	14	0	0
	Total	195	8	8	178	39	8	96	4	0

En el caso del pasto en el estrato superior (0-10 cm) se capturó el mayor número de macroinvertebrados equivalentes al 56% del total de los cuatro muestreos a los 30 d, en este estrato el menor número se capturó en el tercer muestreo con un 13% de individuos (Figura

1). Se puede observar que en el segundo estrato (10-20 cm) solo hubo presencia de macroinvertebrados en el segundo y cuarto muestreo con un porcentaje del 64 y 35% respectivamente. En el tercer estrato (20-30 cm) solo se capturaron individuos en el segundo muestreo.

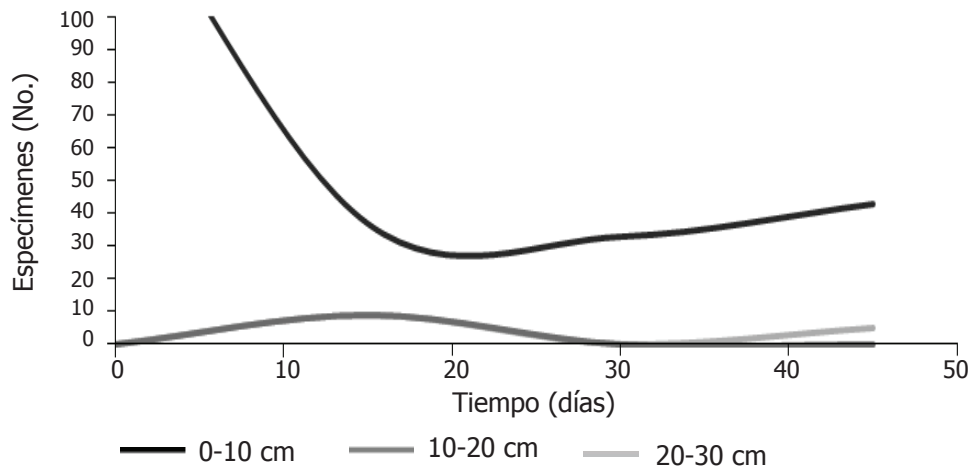


Figura 1. Macroinvertebrados presentes en los estratos del suelo cultivado con pasto (*Pennisetum* sp) en el C.I. CORPOICA La Selva, Rionegro, Colombia.

En el caso de mora en el estrato superior el mayor número de especímenes se cuantificó en el segundo muestreo a los 15 d, con un 35% y en el cuarto a los 45

d, fue el tiempo en que se capturó la menor cantidad de especímenes, equivalentes al 14% del total del estrato (Figura 2).

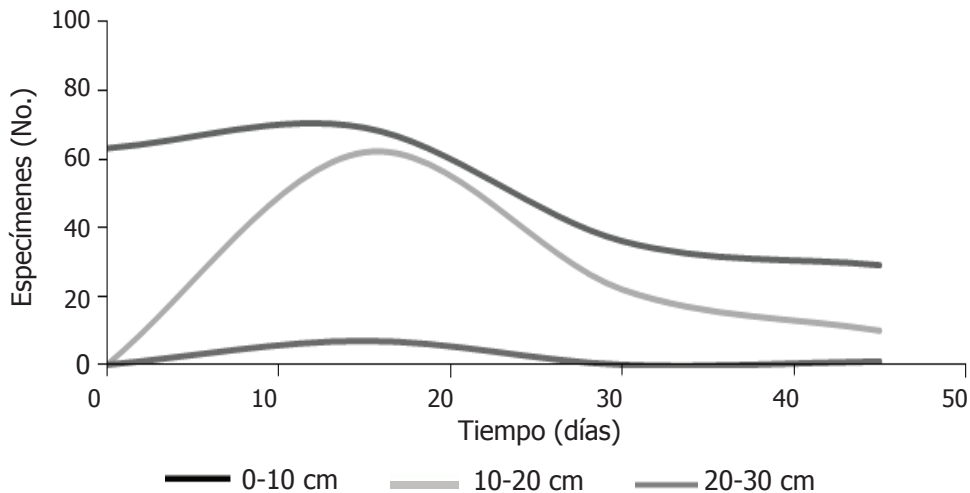


Figura 2. Macroinvertebrados presentes en los estratos del suelo cultivado con mora (*Rubus glaucus*, Benth C.V. Castilla) en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

En aguacate el estrato superior del primer muestreo se presentó el mayor número de macroinvertebrados correspondieron al 57%, y en el cuarto muestreo se capturó un 12%, en los otros dos estratos es poca la presencia de macroinvertebrados (Figura 3). En aguacate y pasto en el primer muestreo se encontró el mayor número de especímenes en el estrato superior.

La temperatura registrada fue poco variable, presenta amplitud térmica diaria alrededor de 15 °C, la temperatura promedio es constante; durante los dos meses se observaron máximas de 25 °C y mínimas de 10 °C (Figura 4).

La precipitación para el mes de marzo fue de 91,3 mm y en abril de 213,3 mm durante este período se

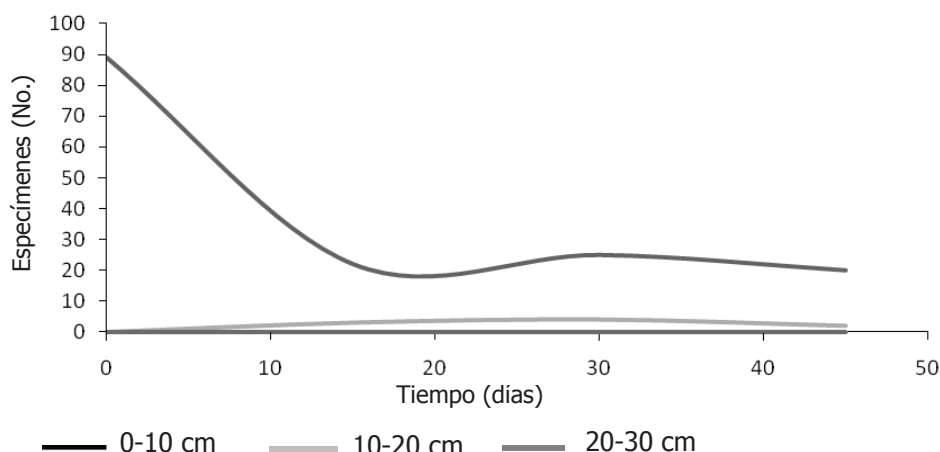


Figura 3. Macroinvertebrados presentes en los estratos del suelo cultivado con aguacate (*Persea americana* CV HASS) en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

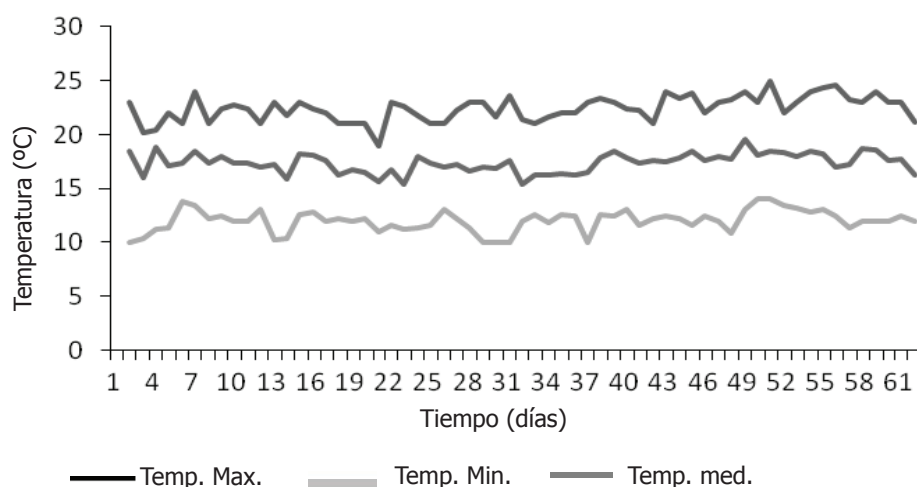


Figura 4. Comportamiento de la temperatura registrada durante marzo y abril de 2009, en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

presentaron cinco episodios de mayor volumen de lluvia, entre 20-40 mm. La evaporación total para los meses de marzo y abril fue de 118,6 y 209,4 mm respectivamente y en este período hubo siete registros de alta evaporación entre los 15-30 mm (Figura 5).

La humedad relativa registrada mayor del 70%, es alta y está asociada con la baja temperatura y el balance hídrico (Figura 6).

El mayor número de macroinvertebrados se encontró en el estrato de 0-10 cm para las tres condiciones evaluadas: pasto, mora y aguacate. Esto concuerda con los hallazgos

de Jiménez *et al.* (2001) y Rangel *et al.* (2001), donde establecen que la macrofauna se encuentra confinada en la parte superior, en los primeros centímetros del suelo.

La composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados son muy sensibles a las diferentes prácticas de manejo del suelo (Lavelle *et al.*, 1992), lo que se pudo constatar con la evaluación en los diferentes cultivos, ya que la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados fue distinta.

Se encontró que los macroinvertebrados que más sobresalieron fueron los artrópodos, especialmente

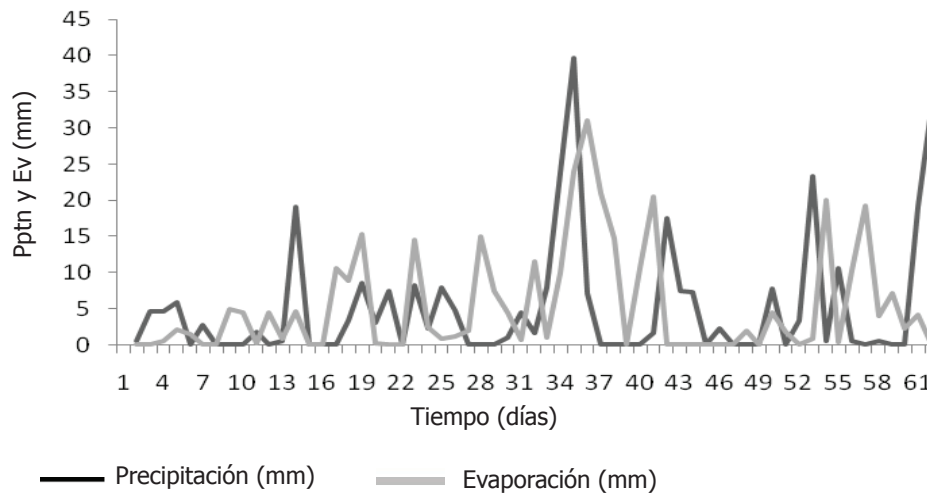


Figura 5. Precipitación y evaporación registrada durante marzo y abril de 2009, en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

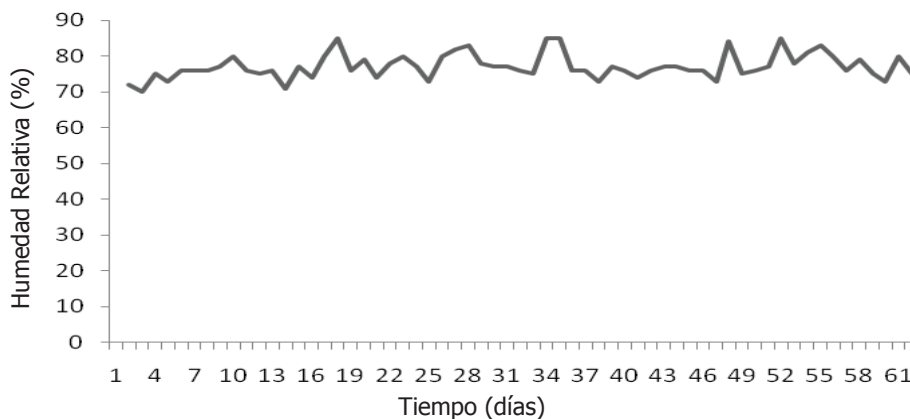


Figura 6. Comportamiento de la humedad relativa registrada durante marzo y abril de 2009, en el C.I. CORPOICA La Selva. Rionegro, Colombia.

Formicidae y Coleoptera, lo cual coincide con lo mencionado por Doblas *et al.* (2007).

El análisis químico de los suelos correspondiente a los cultivos estudiados, presenta niveles altos de minerales, debido a las aplicaciones programadas de fertilizantes químicos, que al parecer no influyen con las poblaciones de macroinvertebrados.

La temperatura no varió, el cambio se presentó en la precipitación; cuando ésta aumentó, las poblaciones de macroinvertebrados disminuyeron. De acuerdo con Lavelle (1983), las variables

ambientales como temperaturas altas y regímenes hídricos contrastantes pueden afectar los patrones de distribución de la macrofauna en los suelos tropicales, teniendo en cuenta la duración de la época seca, capacidad del suelo para retener agua y cobertura vegetal, estas condiciones tienden a ser extremas en la medida en que el suelo queda expuesto por falta de cobertura vegetal a las condiciones del medio ambiente, esto se evidenció en los distintos muestreos donde la distribución de los macroinvertebrados cambió en número a través del tiempo relacionado con las condiciones de precipitación.

CONCLUSIONES

La población de macroinvertebrados del suelo cambió con las distintas historias de manejo, la profundidad y las condiciones climáticas en particular con la precipitación.

La mayor cantidad de macroinvertebrados se presentó en los primeros 10 cm del suelo y disminuyó con la profundidad.

Las población de macroinvertebrados se redujo con el incremento de la precipitación y el aumento de la impedancia mecánica, siendo sensibles a los cambios de resistencia a la penetración del suelo.

En la medida en que la resistencia a la penetración en el suelo fue mayor, se incrementaron las poblaciones de Melolonthidae y Elateridae, disminuyendo a su vez las poblaciones de Lumbricidae. Queda en evidencia la funcionalidad de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al C.I. CORPOICA La Selva y en especial a la Doctora Marta Eugenia Londoño Zuluaga. Al Museo Entomológico Francisco Luis Gallego y al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por la orientación en la identificación y ejecución de las diferentes determinaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, E., D. Velázquez, y R. Ramírez. 2005. Efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de surbio y en las condiciones físicas y químicas de un suelo degradado. *Suelos Ecuatoriales de Colombia* 35(2): 85-93.

Arshad, M. and G. Coen. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(1-2): 25-31.

Astier, M., M. Maass y J. Etchevers. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5): 605-620.

Blair, J., P. Bohlen and D. Freckman. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. pp. 273-291.

In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America (SSSA), Special Publication 49, Madison WI.

Blanchart, E., P. Lavelle, E. Braudeau, Y. Bissonais and C. Valentin. 1997. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of cote d'Ivoire. *Soil Biology and Biochemistry* 29(3/4): 431-439.

Bouyoncus, G.I. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54(3): 464 – 465.

Brussard, L., M. Pulleman, E. Ouédraogo, A. Mando, and J. Six. 2007. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. *Pedobiologia* 50(6): 447-462.

Cerón, P., S. Montenegro, y E. Noguera. 2008. Macrofauna en suelos de bosque y pajonal de la reserva natural Pueblo Viejo, Nariño, Colombia. *Revista Academia Colombiana de Ciencias* 32(125): 447-453.

De Leenheer, L. and M. De Boodt. 1958. Soil structure index and plant grow. pp. 324-344. In: *Proceedings International Symposium Soil Structure*. Ghent, Belgica.

Doblas, M., F. Sánchez, A. González. 2007. Soil macroinvertebrate fauna of a mediterranean arid system: composition and temporal changes in the assemblage. *Soil Biology and Biochemistry* 39(8): 1916–1925.

Etchevers, J.D., R. Fischer, I. Vidal, K. Sayre, M. Sandoval, K. Oleschko, y S. Roman. 2000. Labranza de conservación, índices de calidad del suelo y captura de carbono. En: *Memorias Simposio Internacional de Labranza de Conservación*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Mazatlán, Sinaloa.

Feijoo, A. y E. Knapp. 1998. El papel de los macroinvertebrados como indicadores de fertilidad y perturbación de suelos de ladera. *Suelos Ecuatoriales* 28: 254-259.

Guinchard, M. et J. Robert. 1991. Approche biocénétique du système sol par l'étude du peuplement de larves d'insectes (première contribution). *Revue D'écologie et de Biologie du Sol* 28(4): 479-490.

- Harris, D. 2009. Análisis químico cuantitativo. Tercera edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. 924 p.
- Ibáñez, C., S. Palomeque y F. Fonturbel. 2004. Elementos principales del suelo, geodinámica y dinámica de los principales componentes del suelo. pp. 2-4. En: El recurso suelo: bases edafológicas, problemática, administración y contaminación. Publicaciones Integrales, La Paz.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta edición. DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Bogotá. pp. 371-458.
- Jiménez, J., A. Cepeda, D. Friesen, T. Decaëns, and A. Oberson. 2001. Chapter 14: Phosphorus availability in casts of an Anecic savanna earthworm in a Colombian Oxisol. pp. 199-211. In: Jimenez J. and R. Thomas (eds.). Soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia. International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia. 444 p.
- Jones, C., J. Lawton, and M. Shachak, 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- Karlen, D.L., M. Mausbach, J. Doran, R. Cline, R. Harris and G. Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61(1): 4-10.
- Klemens, E., T. Stierhof, J. Dauber, K. Kreimes, and V. Wolters. 2003. On the quality of soil biodiversity indicators: abiotic and biotic parameters as predictors of soil faunal richness at different spatial scales. *Agriculture Ecosystems Environment* 98(1-3): 273-283.
- Klute, 1982. Water retention: Laboratory methods. pp. 235-240. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*, 2nd edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher, Madison, WI.
- Lal, R. 1988. Effects of Macrofauna on soil properties in tropical systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 24(1-3): 101-116.
- Lavelle, P. 1983. The soil fauna of tropical Savannas; II: The earthworms. pp. 485-504. In: Bourliere, F. (ed.). *Tropical Savannas*. Elsevier, Amsterdam.
- Lavelle, P., G. Meléndez, B. Pashanasi y R. Schafer. 1992. Nitrogen mineralization and reorganization in casts of the geophagous tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae). *Biology and Fertility of Soils* 14(1): 49-53.
- Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. López, B. Pashanasi and L. Brussaard. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. pp. 137-169. In: Woome, P. and M. Swift (eds.). *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester.
- Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystems function. *Biology International* 33: 3-16.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystems function. *Advances in Ecological Research* 27: 93-132.
- Lavelle, P. and A. Spain. 2001. *Soil ecology*. Kluwer Scientific Publications, Dordrecht, Amsterdam. pp. 211-239.
- Lavelle, P., T. Decaëns, M. Aubert, S. Barot, M. Blouin, F. Bureau, P. Margerie, P. Mora, and J. P. Rossi. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. 42(Supplement 1): S3-S15.
- Lora, R. 1978. El análisis de suelos y su interpretación. Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, Bogotá, Colombia. pp. 237-267.
- Medina, C. 2003. Estudio de algunos aspectos fisiológicos del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 195 p.
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939: 1-19. Gov. Printing Office, Washington D.C.
- Piere, C. 1989. *Fertilité des terres de savanes*. Ministère de la Coopération et CIRAD- IRAT, Paris. 444 p.
- Rangel, A., R. Thomas, J. Jimenez, and T. Decaens. 2001. Chapter 13: Nitrogen dynamics associated with

earthworm casts of *Martiodrilus carimaguensis* in a Colombian Savanna Oxisol. pp. 195-198. In: Jimenez J. and R. Thomas (eds.). Soil macroinvertebrate communities in the neotropical Savannas of Colombia. International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia. 444 p.

Romig, D., M. Garlynd, R. Harris, and K. McSweeney. 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50(3): 229-236.

Spain, A., P. Lavelle and A. Mariotti, 1992. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12): 1629-1633.

Soil Quality Institute. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, USA.

Villani, M., L. Allee, A. Díaz, and P. Robbins. 1999. Adaptive strategies of edaphic arthropods. *Annual Reviews Entomology* 44: 233-256.

Vohland, K. and G. Schroth. 1999. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in Central Amazonia as affected by plant species and management. *Applied Soil Ecology* 13(1): 57-68.

Walkley, A. and I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.

Wood, T.G. 1978. Food and feeding habits of termites. pp. 55-80 In: Brian M.V. (ed.). *Production Ecology of ants and termites*. Cambridge University Press, London. 401 p.

Wolters, V. and K. Ekschmitt. 1997. Gastropods, Isopods, Diplopods, and Chilopods: Neglected groups of the decomposer food web. pp. 265-306. In: Benckiser, G. (ed.). *Fauna in soil ecosystems: recycling processes nutrient fluxes and agricultural production*. Marcel Dekker, Inc., New York.

Wolters, V. 2000. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils* 31(1): 1-19.