

Caracterización ecológica de las lombrices (*Pontoscolex corethrurus*) como bioindicadoras de suelos compactados en condiciones de alta humedad del suelo con diferentes coberturas vegetales (Zipacón, Cundinamarca)¹

Ecological characterization of earthworm (*Pontoscolex corethrurus*) as bioindicator of soil compacted by livestock activity, under conditions of high soil moisture, within different vegetation cover (Zipacón, Cundinamarca)

Caracterização ecológica de minhocas (*Pontoscolex corethrurus*) como bioindicadores solo compactado sob condições de alta umidade do solo com plantas de cobertura diferentes (Zipacón, Cundinamarca)

Recibido: enero de 2014

Aprobado: junio de 2014

Martha Cecilia Gutiérrez Sarmiento²

Claudia María Cardona³

Resumen

Este artículo reporta los resultados de un estudio con lombrices de tierra de la especie *Pontoscolex corethrurus* presentes en la finca La Libertad del municipio de Zipacón (Cundinamarca) como bioindicadoras de suelos compactados por actividad ganadera con tres coberturas vegetales. *P. corethrurus* fue encontrada en tres estados de desarrollo (huevos, juveniles y adultas) en las tres coberturas vegetales, distinguiendo tres características físicas e hidrológicas del suelo: densidad aparente en seco, compactación e infiltración básica. Los resultados mostraron diferencias significativas a 1 % en todas las fuentes de variación, prevaleciendo el efecto de *P. corethrurus* en cada una de las etapas de su desarrollo, asociado al efecto de las coberturas vegetales, con la condición hidrológica (infiltración básica) como efecto de mayor incidencia seguido por la compactación y la densidad aparente.

Palabras clave: bioindicadores, suelos compactados, suelos ganaderos y húmedos, *Pontoscolex corethrurus* (lombriz de tierra).

Abstract

This research article reports the results of study with earthworms (*Pontoscolex corethrurus*), the work was carried out on the La Libertad farm in the Municipio de Zipacón (Cundinamarca), as bioindicators of soil

1 Artículo de investigación

2 Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá (Colombia). Contacto: mcgutierrez@udistrital.edu.co

3 Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá (Colombia). Contacto: cmcardona@udistrital.edu.co

compacted by livestock activity with three vegetation covers. *Pontoscolex corethrurus* was found in three stages (eggs, juveniles and adults) in the three treatments, distinguishing three physical and hydrological characteristics of the soil: dry density, compaction, and basal infiltration. The results showed significant differences at 1% in all sources of variation, with prevalence of the effect of *Pontoscolex corethrurus* in each of the stages of development, namely youth, eggs and adults, and treatments associated with the effect of vegetative cover, with hydrologic condition (basic infiltration) being the effect of major incidence, followed by compaction and density.

Keywords: Biomarkers, compacted soils, livestock and humid soils, *Pontoscolex corethrurus*.

Resumo

Este artigo relata os resultados de um estudo com minhocas *Pontoscolex* espécie *corethrurus* presentes no município de La Libertad Zipacón (Cundinamarca) como bioindicadores de compactado pelo gado cobertura vegetal três andares. *P. corethrurus* foi encontrado em três fases (ovos, juvenis e adultos) nos três coberturas, distinguindo três características físicas e hidrológicas do solo: densidade, compactação e de infiltração básica. Os resultados mostraram diferenças significativas a 1% em todas as fontes de variação, substituindo o efeito de *P. corethrurus* em cada uma das fases de desenvolvimento associados com o efeito da cobertura vegetal, a condição hidrológica (infiltração básica) efeito maior incidência seguido de compactação e a densidade a granel.

Palavras-chave: Bioindicadores, solos compactados, solos úmidos e gado, *Pontoscolex corethrurus* (minhoca).

Introducción

En los trópicos, los cambios en el uso de la tierra pueden afectar las funciones de los macroinvertebrados que habitan el suelo, haciendo que estos respondan a las alteraciones antropogénicas (Doran y Zeiss, 2000; Pankhurst, 1997, citados por Sevilla, 2002). Por lo tanto, estos macroinvertebrados resultan útiles como bioindicadores de la calidad del medio ambiente, por estar relacionados con la fertilidad del suelo y por ser susceptibles a la perturbación del hábitat y a la contaminación.

Las lombrices de tierra pueden ser utilizadas como indicadores del estado de los suelos, por ser organismos que responden a las perturbaciones de aquellos, además, influyen en los procesos que se dan en el interior del suelo, permitiendo mejorar sus características. De este modo, pueden ser muy útiles para determinar los efectos de algunas prácticas de manejo del suelo o los impactos de las actividades humanas sobre él (Blair et al., 1996, citado por George, 2006).

Sin embargo, la sustitución de selvas por pastizales brinda condiciones propicias para algunas especies de lombrices que se benefician a causa de estos cambios,

mientras que otras especies desaparecen. Por esto, Feijoo, Quintero, Frago y Moreno (2004) afirman que las lombrices de tierra se pueden utilizar como indicadores de dos formas: la primera relacionada con la fertilidad del suelo que debe incluir lombrices epigeas, endógenas y anécicas, y la segunda tiene que ver con el empleo de las lombrices como indicadores de señales tempranas de trayectorias de degradación o recuperación de los medios de cultivo.

En Colombia se han realizado diversos trabajos relacionados con la caracterización de lombrices de tierra y su relación con el uso de la tierra (Chamorro, 1981; Fuentes, 1997; Fuentes, Chamorro y León, 1998; Araujo y López, 1999; Feijoo, Quintero et al., 2004; Feijoo, Zúñiga, Quintero y Lavelle, 2007); sin embargo, no se registran estudios realizados para la zona de Zipacón y tampoco bajo condiciones de un evento crítico de alta humedad del suelo, en este caso causado por el fenómeno extremo de La Niña, aporte nuevo que pretende mostrar este trabajo. Su objetivo principal fue caracterizar ecológicamente las poblaciones de lombrices de tierra, con diferentes coberturas vegetales, como base para su utilización como bioindicadoras de suelos compactados y sus potencialidades de uso.

Metodología

La metodología de este proyecto de investigación de análisis de las lombrices de tierra como bioindicadores comprende las siguientes etapas: descripción de la zona

de estudio, caracterización de las coberturas vegetales, muestreo del material biológico, muestreo del material edáfico y análisis hidrológico del suelo. En cada una de estas etapas se realizó un trabajo de campo y un trabajo de laboratorio. Finalmente, se describen los pasos del diseño experimental que se realizó en arreglo factorial 3 × 3 en bloques completamente al azar.

Descripción de la zona de estudio

El contexto geográfico en el cual se realizó el estudio fue el municipio de Zipacón, en la vereda la Laguna Verde, donde se ubica la finca La Libertad, a una altitud de 1710 msnm; el uso actual de la finca es para producción de follajes. La temperatura promedio anual es de 17 °C con variaciones mínimas que no superan los 1.5 °C. La clasificación climática corresponde a zona templada semihúmeda (Tsh) o zona fría semihúmeda (Fsh). La historia de manejo del suelo revela un proceso de deterioro por el sobrepastoreo y la adición de enmiendas para la adecuación de tierras en otros usos (Sastre, 2010).

Caracterización de las coberturas vegetales

Se identificaron tres coberturas vegetales en la finca La libertad: 1) pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), denominado P; 2) maní forrajero (*Arachis pintoi*) y eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*; sin. *Eucalyptus pulverulenta*), variedad baby blue, denominado BM; y 3) pasto y eucalipto blanco, denominado PB (tabla 1).

Parcelas de ensayo (coberturas)	Descripción
Parcela 1: pradera pasto kikuyo (P)-Parcela testigo.	Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) cobertura original con pastoreo de ganado bovino sin ninguna mejora.
Parcela 2: asocio E. globulus; sin. E. pulverulenta, variedad baby blue y maní forrajero (A. pintoi) (BM).	E. pulverulenta variedad baby blue plantación de cuatro años. Leguminosa maní forrajero (A. pintoi) plantación de tres años.
Parcela 3: asocio pasturas y E. pulverulenta variedad baby blue (PB).	Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) cobertura original E. pulverulenta variedad baby blue plantación de cuatro años.

Tabla 1. Características de las tres coberturas del suelo en las parcelas de ensayo.

Fuente: Gutiérrez (2012)

Muestreo del material biológico (lombrices de tierra)

Trabajo de campo: se realizaron muestreos de las lombrices de tierra presentes en los meses de noviembre de 2010, agosto y septiembre de 2011. Dentro del área de cada parcela se ubicaron cuatro unidades de muestreo de 4 × 4 m; en cada unidad se tomaron muestras al azar. Con la ayuda de una pala, se extrajo un volumen de 30 × 30 × 40 cm de suelo y se colocó sobre plástico grueso. Se seleccionaron las lombrices encontradas en cada unidad de muestreo y se colocaron con parte del suelo extraído en bolsas plásticas calibre 4 de 52 × 39 cm. Cada bolsa se marcó con fecha de recolección y tipo de parcela muestreada.

Trabajo de laboratorio: las lombrices se contaron y pesaron para obtener parámetros de abundancia, densidad y biomasa. La clasificación taxonómica se realizó con la ayuda de claves taxonómicas (Rhigi, 1971; Bouche, 1972; Pierce, 1976) y el trabajo realizado por Acosta, Bedoya, Parra y Rivas, 1994).

Procesamiento de la información y estimadores de comparación: los datos obtenidos en el laboratorio sobre abundancia, densidad, biomasa y tipos de desarrollo de las lombrices (huevos, juveniles y adultas) se presentan en figuras que muestran las tendencias del comportamiento de estos organismos, como indicadores biológicos, porque están asociados a las tres coberturas vegetales del ensayo y a los tiempos en los cuales se realizaron los muestreos.

Muestreo de material edáfico-análisis físico

Trabajo de campo: la evaluación de los parámetros de abundancia, densidad y biomasa de las lombrices se relacionaron con algunas características

fisicoquímicas del suelo. Así, para los análisis físicos del suelo se realizó una toma de datos de compactación, utilizando un penetrómetro de cono. Para esto se realizaron cuatro mediciones por cada sitio de muestreo, con el fin de promediar los datos y obtener un resultado característico de cada sitio (parcelas de ensayo).

Para la recolección de muestras (relación masa-volumen), se efectuó una cajuela (50 × 70 cm) por sitio de muestreo. Luego de la caracterización del perfil se tomaron las muestras, para lo cual se emplearon cilindros de 98.17 cm³ en suelo no alterado en forma de red a lo largo del perfil cada 10 cm. En total se obtuvieron 15 muestras por cajuela, las cuales fueron marcadas y empacadas, respectivamente.

Trabajo de laboratorio: para encontrar la relación masa-volumen, en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales se tomó la masa en húmedo y se empacaron las muestras en bolsas de papel para someterlas a 105 °C en la estufa durante 24 h, a fin de tomar la masa seca.

A partir de los datos anteriores, se efectuaron los cálculos de las variables. Las propiedades químicas de los suelos fueron analizadas a partir de estudios previos, del análisis del laboratorio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAG).

Análisis hidrológico del suelo

Trabajo de campo: el análisis hidrológico del suelo se realizó utilizando cilindros infiltrómetros para la determinación de la infiltración básica.

Trabajo de laboratorio: con la información obtenida se realizó el cálculo de las ecuaciones que caracterizan la infiltración del suelo, la infiltración

instantánea y la infiltración acumulada, y se determinó la infiltración básica.

Diseño experimental

El diseño experimental se realizó en arreglo factorial (3×3) con bloques completamente al azar, donde el factor A fueron los estados del desarrollo de las lombrices encontradas, el factor B las características físicas e hidrológicas del suelo y el efecto del bloque comparando las diferentes coberturas vegetales.

Los resultados se presentaron a través de un análisis de varianza (prueba F) y fueron contrastados con una prueba de comparación múltiple de medias (prueba Duncan). El modelo lineal que representa el diseño experimental garantizó la consideración de cada uno de los efectos de los factores y del bloque, así como el efecto de la interacción entre los niveles del ensayo.

Resultados

Los resultados del trabajo de investigación muestran la caracterización de las poblaciones de lombrices en las parcelas de ensayo, a través de la determinación de una especie única, *P. corethrurus*; las características de los suelos incluyen la compactación, la densidad aparente, la porosidad total, el volumen sólido y el grado de saturación. Por otra parte, los resultados del análisis hidrológico muestran la determinación de la infiltración básica. Finalmente, los resultados del análisis estadístico confirman que cada uno de los estados de desarrollo de la especie *P. corethrurus* está presente en las diferentes coberturas vegetales, pero su relación de abundancia está asociada principalmente a las condiciones de compactación, infiltración básica y densidad aparente, lo que convierte a esta especie en un bioindicador de suelos alterados.

Caracterización de las poblaciones de lombrices en las parcelas de ensayo

Determinación taxonómica

Se estudiaron 21 especímenes en el laboratorio de los 1162 recolectados para su identificación en el laboratorio. Se encontraron dos especies de lombrices: *P. corethrurus* (Müller, 1857) de la familia Glossoscolecidae, con gran predominio en todas las parcelas de ensayo, y un segundo espécimen de alta movilidad que no pudo ser identificado, ya que no se encontraron individuos maduros, hallándose muy ocasionalmente (seis individuos en total de todos los muestreos).

La especie dominante en todas las parcelas de ensayo *P. corethrurus* (Müller, 1857) es una especie exótica, neotropical, endógena y geófaga (habitante del suelo y consumidora de suelo), considerada una especie muy común en los ecosistemas gestionados o en áreas sujetas a algún tipo de alteración (Tapia, Luizao, Barros, Pashanasi y Del Castillo, 2006; Jiménez, Moreno, Decaëns, Lavelle, Fisher y Thomas, 2003).

Esta especie representó 99,48 % del total de lombrices recolectadas en las tres parcelas de ensayo, en los diferentes muestreos, lo que concuerda con lo afirmado por Lavelle et al. (1987) al referir que esta especie constituye entre 80 y 100 % de la biomasa total de lombrices de tierra en ambientes perturbados, donde ha sido introducida accidentalmente por el hombre.

La presencia de *P. corethrurus* en las parcelas de ensayo la constituye en una especie clave, indicadora de ambientes altamente perturbados (cultivos con uso de agroinsumos de síntesis química o pastizales carentes de sombra), según lo reportado por Feijoo et al. (2007). Para el caso de las parcelas de ensayo en la finca La Libertad se justifica la

presencia de esta especie, porque estos suelos fueron dedicados a la ganadería por largo tiempo.

En las áreas seleccionadas, se recolectaron 1162 lombrices para todos los muestreos, de las cuales 1156 corresponden a la especie *P. corethrus*; 942 (81.48%) corresponden a lombrices juveniles y 214 (18.51%) a lombrices adultas. Lavelle et al. (1987) afirman que esta especie es por lo general ausente en los ecosistemas no alterados, aunque según este autor las poblaciones asentadas en un área perturbada pueden a veces colonizar ambientes no perturbados de una manera limitada.

Procesamiento de la información y estimadores de comparación

A través de tablas y figuras se muestran las tendencias del comportamiento de *P. corethrus* asociadas a las diferentes coberturas del ensayo (parcelas de ensayo) y a los tiempos en los que se realizaron los muestreos. Así, la tabla 2 y la figura 1 dan cuenta de la cantidad de lombrices y su peso bajo las diferentes coberturas vegetales (parcelas de ensayo) en el primer muestreo. La figura 2 muestra el peso de las lombrices (biomasa) para el primer muestreo. Del mismo modo, se trabajó para cada uno de los muestreos.

25 de noviembre 2010					
Parcelas de ensayo	Lombrices adultas	Lombrices juveniles	Total lombrices	Total huevos	Peso de las lombrices (gramos)
Pasturas (P)	24	95	119	21	232
Baby blue y maní forrajero (BM)	23	188*	211	30	27.8
Pasturas y baby blue (PB)	21	127	148	20	21.94
Total	68	410	478	71	

*De las 188 lombrices encontradas en BM, dos pertenecen a la especie de alta movilidad que no pudo ser determinada por no haberse encontrado individuos maduros.

Tabla 2. Cantidad y peso de lombrices en las diferentes etapas de desarrollo y peso bajo las diferentes coberturas (primer muestreo)

Fuente: Gutiérrez (2012)

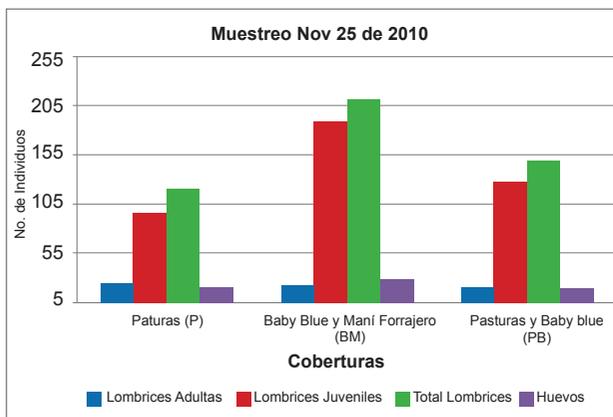


Figura 1. Cantidad de lombrices en las diferentes etapas de desarrollo frente a las parcelas de ensayo (primer muestreo).

Fuente: Gutiérrez (2012)

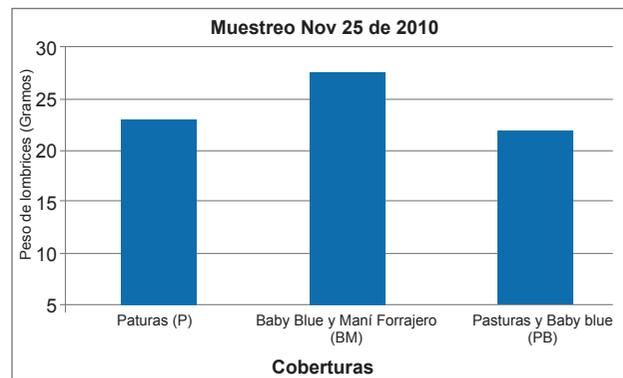


Figura 2. Peso (biomasa) de lombrices en las diferentes coberturas durante el primer muestreo.

Fuente: Gutiérrez (2012)

Se registraron además los datos del número de lombrices adultas, juveniles y huevos para cada uno de los muestreos con sus correspondientes figuras, así como el peso, la densidad y la biomasa. De esta manera, se evidenció a través del procesamiento de la información y sus respectivas figuras (estadística descriptiva) que en la especie *P. corethrus* encontrada el estado juvenil es el que predomina, seguido por huevos y adultas. Y que cada uno de estos estados de desarrollo está presente en las diferentes coberturas vegetales. Lo que pudo corroborarse a través del tratamiento estadístico aplicado. La figura 3 muestra que el mayor porcentaje de lombrices (44 %) se encuentra en la parcela de ensayo con asocio de *E. globulus; sin. E. pulverulenta* variedad baby blue y maní forrajero (*A. pintoii*) (BM) con 515 lombrices de las 1162 encontradas (tabla 3).

Cobertura	Lombrices totales
Pasturas (P)	308
Baby blue maní (BM)	515
Pasturas baby blue (PB)	339
Total	1162

Tabla 3. Total de lombrices en todos los muestreos realizados para cada una de las coberturas.

Fuente: Gutiérrez (2012)

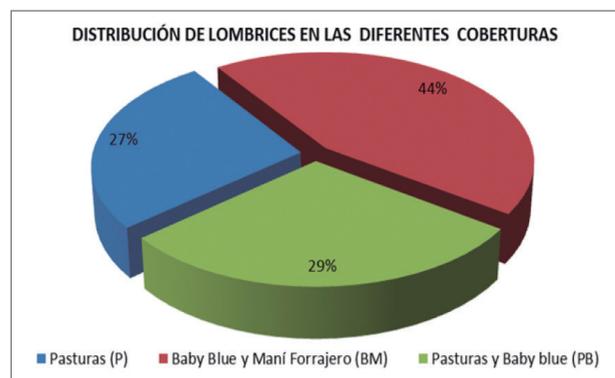


Figura 3. Abundancia de lombrices en las diferentes coberturas.

Fuente: Gutiérrez (2012)

El mayor porcentaje de lombrices (44 %) se encuentra en la parcela de ensayo con asocio de *E.*

globulus; sin. E. pulverulenta variedad baby blue y maní forrajero (*A. pintoii*) (BM) (figura 3).

Características físicas del suelo

Compactación

Al analizar los resultados de compactación de las diferentes coberturas, se encontró que el promedio más alto de compactación de las parcelas de ensayo fue el de la cobertura con pasturas (P) que se trabajó con la punta 2 del penetrómetro, con un valor promedio de 568 N, le siguen en orden la parcela con pasturas baby blue (PB) con un valor promedio de 430 N y la parcela con baby blue maní con un valor promedio de 416 N (figura 4).

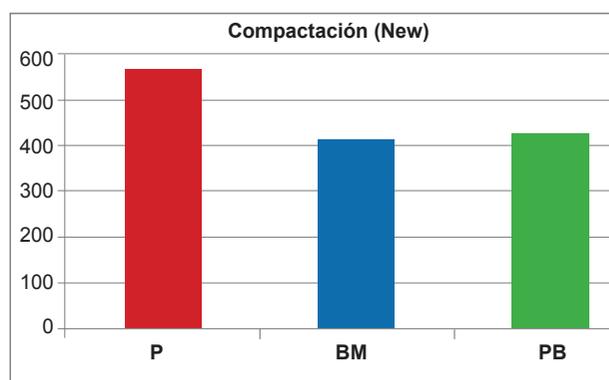


Figura 4. Media de compactación para cada una de las parcelas de ensayo.

Fuente: Gutiérrez (2012)

Relación masa-volumen

Para los tres sitios evaluados se presenta la misma tendencia en los tres parámetros, en cuanto a la masa húmeda y seca la parcela con pasturas y baby blue (PB) presenta una variación menos acentuada que la parcela con baby blue maní y la parcela con pasturas (P), en las cuales el mayor valor se presenta a 40 cm de profundidad. Por el contrario, la masa de agua se mantiene casi que constante a lo largo de los tres perfiles.

Densidad aparente: los valores de densidad aparente en húmedo para los tres sitios oscilan entre 1.11 y 1.47 g/cm³, siendo el sitio 3 (PB) con los mayores valores, lo que indica una menor microporosidad en aquel. Para los sitios (P) y (PB) el mayor valor se presenta a los 40 cm de profundidad, mientras que en el sitio 1 (BM) se presenta a los 10 cm. Es marcado el aumento de densidad a los 40 cm en el sitio 3 (PB).

Porosidad total: Los valores de porosidad total oscilan entre 56 y 69 % y los del volumen poroso entre 54.6 y 68.06 cm³, donde los tres sitios presentan comportamientos diferentes entre sí, pero similares para las dos variables; el sitio 1 (BM) presenta los mayores valores de estas dos variables a los 30 y 50 cm de profundidad; el sitio 2 (P) registra el mayor valor a los 50 cm, y por último el sitio 3 (PB) presenta su mayor valor a tan solo 10 cm de profundidad, lo que correspondería a la poca capa con materia orgánica que pueda existir en esta sección del perfil. Los menores valores se registran para el sitio 3 (PB), lo que indica un menor grado de espacios porosos en este perfil.

Volumen sólido y grado de saturación: los valores de volumen sólido y grado de saturación oscilan entre 30.1-43.5 cm³ y 43.6-60.2 %, respectivamente. En cuanto al volumen sólido, el sitio con los valores más altos corresponde al sitio 3 (PB), para los tres sitios esta variable presenta el mayor valor a los 40 cm de profundidad. En cuanto al grado de saturación, el sitio con mayores valores es el 3 (PB). La tendencia de los tres es muy variada, el sitio 1 (BM) presenta su punto más alto a los 10 cm, el 2 (P) a los 40 cm y, por último, el 3 (PB) a los 50 cm. Con respecto al grado de saturación del suelo, Juárez y Rico (1995) mencionan que un suelo con un valor de 100 % se encuentra saturado, mientras que uno con 0 % es un suelo seco; para este caso los tres sitios presentan un valor cercano a 50 %, lo que indica que existe 50 % de probabilidad de encontrar agua en el espacio poroso.

Relación de vacíos: la relación de vacíos presentó valores entre 1.26 y 2.9, el sitio con los valores más altos fue el sitio 1 (BM) y el de los valores más bajos el sitio 3 (PB). Para los tres sitios se observa una disminución del valor en la profundidad de 40 cm, siendo este el menor valor para los tres. Montenegro y Malagón (1990) mencionan que los valores se presentan entre 0.3 y 2.0; en este caso, el sitio 1 (BM) presenta valores fuera de este rango, lo que es acorde con los valores de porosidad muy altos: a medida que el volumen poroso aumenta el valor de esta relación aumenta.

Volumen de poros: el volumen de poros ocupados por aire tiene valores entre 0.24 y 0.59 cm³, el sitio 3 (PB) tiene los menores valores y el sitio 1 (BM) los mayores valores. El sitio 1 (BM) presenta una tendencia a aumentar el valor a los 30 y 50 cm, siendo el menor a los 10 cm. En el sitio 2 (P), el mayor valor se presenta a los 30 cm y desciende a los 40 cm, y por último el sitio 3 (PB) tiene el mayor valor a los 20 cm y su pico más bajo se presenta a los 50 cm de profundidad.

Existe cierta correspondencia entre la porosidad total y la densidad aparente en los resultados presentados, donde de acuerdo con Duchaufour (1965), citado por Montenegro y Malagón (1990), densidades con valores entre 1.1 y 1.4g/ cm³ presentan porcentajes de porosidad total de 55 a 47 %; es de resaltar que en las muestras analizadas los valores de porosidad alcanzaron hasta 69 %, para lo que se tendría una densidad muy baja.

En cuanto a los análisis de suelos, en los tres sitios el suelo presenta un pH muy ácido, saturación de acidez intercambiable que es limitante para cultivos, contenido de materia orgánica y nitrógeno medio, las relaciones intercambiables son ideales a excepción de Ca/Mg, la cual presenta deficiencia de Ca en la cobertura BM. La saturación de bases es baja en los tres sitios. En cuanto a los elementos menores, el Zn presenta niveles bajos en los tres sitios, en cuanto

Cu y Mn son elementos deficientes en los tres sitios, mientras que el Fe está en exceso para los tres.

El potasio se encuentra en niveles altos en las coberturas BM y P, mientras que en un nivel medio en la cobertura PB, en cuanto a la CIC (capacidad de intercambio catiónico), tiene un nivel medio para el sitio BM y nivel alto en P y PB.

El nivel de fósforo para los tres sitios es bajo, lo que concuerda con el exceso de acidez que se presenta en los tres sitios, lo que hace no disponible el fósforo presente en el suelo.

Análisis hidrológico

El promedio de infiltración básica para las diferentes coberturas vegetales (parcelas de ensayo) correspondió a una infiltración lenta, de acuerdo con la tabla de

clasificación de infiltración básica. Así, el promedio de infiltración básica para los cuatro muestreos en la cobertura con pasto kikuyo (P) fue de 5.2 mm/h, el promedio de infiltración básica para los cuatro muestreos en la cobertura con baby blue maní (BM) fue de 9.175 mm/h y el promedio de infiltración básica para los cuatro muestreos en la cobertura con pasto kikuyo y baby blue (PB) fue de 6 mm/h.

Análisis estadístico

Los resultados se presentan a través de un análisis de varianza (prueba F) y fueron contrastados con una prueba de comparación múltiple de medias (prueba Duncan). El modelo lineal que representa el diseño experimental garantizó la consideración de cada uno de los efectos de los factores y del bloque, así como el efecto de la interacción entre los niveles del ensayo. Se empleó el paquete estadístico SPSS.

Número de lombrices presentes en el suelo factor A									
	a0 = huevos			a1 = juveniles			a2 = adultas		
	Pasturas	B + M	B + P	Pasturas	B + M	B + P	Pasturas	B + M	B + P
R1	21	30	20	95	188	127	24	23	21
R2	34	18	33	37	87	54	23	19	11
R3	91	28	14	40	100	71	25	24	7
R4	49	20	14	46	65	38	18	9	10
Total	195	96	81	218	440	290	90	75	49
Medias Tratam	T0 = 48.75	T1 = 24.00	T2 = 20.25	T3 = 54.50	T4 = 110.00	T5 = 72.50	T6 = 2 2.50	T7 = 1 8.75	T8 = 2.25

Tabla 4. Datos de lombrices presentes en el suelo (factor A según bloques).

Fuente: Gutiérrez (2012)

Fuentes de variación	Medias bloque	Bo = densidad aparente en húmedo (G/Cm ³)	B1 = compactación suelo	B2 = infiltración básica cm/h
Pasturas	167.67	1.31	568	5.2
BB + M	203.67	1.18	416	9.2
BB + P	140.00	1.42	430	6.0

Tabla 5. Fuentes de variación del factor B y los bloques.

Fuente: Gutiérrez (2012)

Tabla de totales por tratamiento						
Tratamiento diferentes coberturas	Coberturas, presencia de organismos y compactación e hidrología del suelo					
	Nivel	b0	b1	b2	Suma	Media ai
	a0	195.00	96.00	81.00	372.00	124.00
	a1	218.00	440.00	290.00	948.00	316.00
a2	90.00	75.00	49.00	214.00	71.33	
Suma	503.00	611.00	420.00	1534.00		
Media bj	167.67	203.67	140.00			

Tabla 6. Totales por tratamiento.

Fuente: Gutiérrez (2012)

C = factor de corrección por medición			87 153.93			r = 3, a = 3, b = 3
Suma de cuadrados de cada fuente de variación						
Total	Tratamiento	Bloque	Factor A	Factor B	Interacción AB	Error
$(\sum X_{ijk}^2) - C$	$[(\sum X_{i.}^2) / r] - C$	$[(\sum X_{.j}^2) / a * b] - C$	$[(\sum a_i^2) / r * b] - C$	$[(\sum b_j^2) / r * a] - C$	SCT - SCA - SCB	SCT - SCT - SCbloque
30 504.07	11 634.07	2038.30	3086.41	2038.30	6509.37	1870.19

Tabla 7. Secuencia de cálculo para Anova.

Fuente: Gutiérrez (2012)

FV	GL	SC	CM	F calculado	F crítico 1 %
Tratamientos	8	11 634.07	1454.26	12.44	3.89
A	2	3086.41	1543.20	13.20	6.23
B	2	2038.30	1019.15	8.72	6.23
AB	4	6509.37	1627.34	13.92	4.77
Bloque	2	2038.30	1019.15	8.72	6.23
Error	16	1870.19	116.89		

Tabla 8. Anova.

Fuente: Gutiérrez (2012)

Con el análisis de varianza (tabla 7), se encuentra que para cada una de las fuentes de variación hay diferencias significativas en 1 %, lo que implica que hay diferencias significativas en el bloque, en los factores A y B y en la interacción.

En términos descriptivos, cada uno de los estados de desarrollo de las lombrices *P. corethrurus* está presente en las diferentes coberturas vegetales, pero su relación de abundancia está asociada

principalmente a las condiciones de compactación, infiltración básica y densidad aparente; esto explica el mayor número de lombrices de esta especie en la cobertura BM que presentó el menor valor de compactación (416 N), el mayor valor de infiltración básica (9.2 cm/h) y un valor de densidad aparente en húmedo de 1.18 g/cm³.

Así, la cobertura BM con una infiltración básica lenta, aunque mayor que las otras coberturas, una

humedad gravimétrica más representativa que P y PB con el mayor porcentaje de poros, tiene la capacidad de retener mayor cantidad de agua que los sitios restantes, además, la densidad aparente en húmedo menor que en las demás coberturas con mayor microporosidad y el menor valor de compactación, presenta las condiciones más propicias para la especie encontrada, ya que según Lavelle et al. (1987) *P. corethrurus* está en plena actividad reproductiva solo cuando la humedad del suelo está por encima de la capacidad de campo.

Prueba Duncan: comparación de diferencias de medias					
Tabla de la razón mínima de significación: prueba Duncan					
				Sx =	6.24
FV	A, B, bloque	AB	t-1	t	
RSS 1 %	4.13	4.45	4.13	4.34	
RMS 1 %	25.78	27.78	25.78	27.09	

Tabla 9. Prueba Duncan.

Fuente: Gutiérrez (2012)

De acuerdo con los estados de desarrollo de la lombriz de tierra *P. corethrurus*, se evidenció que el estado juvenil es el que predomina, seguido por huevos y adultas; esto coincide con lo referenciado por Uribe et al. (2012) que al usar *P. corethrurus* como indicador de la calidad del suelo en sitios de *E. grandis* encontraron que la mayoría de individuos de esta especie se encontraban en etapa juvenil. Además, Lavelle et al. (1987) afirman que las poblaciones de esta especie son dominadas generalmente por individuos jóvenes.

A su vez, los estados de desarrollo de las lombrices *P. corethrurus* se ubican en coberturas particulares: juveniles en BM, huevos en P y adultas en P. Las lombrices juveniles predominaron en la cobertura BM, cobertura que presentó un grado

de saturación de 46.62 %. Según lo reportado por Lavelle et al. (1987), la especie *P. corethrurus* presenta una amplia gama de tolerancia a las condiciones de humedad.

Aunque en los ensayos realizados por estos autores se encontró que la tasa de crecimiento de los gusanos inmaduros (lombrices juveniles) aumenta, con contenidos de humedad superiores a 35% encontrando un máximo de crecimiento de 7-55 % de humedad y disminuyendo después de 60% de humedad; de acuerdo con esto, en el valor de saturación de la cobertura BM (46.62%), la tasa de crecimiento de las lombrices juveniles encuentra un máximo de crecimiento cercano a 6%.

El número de huevos o capullos de la especie *P. corethrurus* fue mayor en la cobertura P, donde se presentó la mayor compactación del suelo (568 N) y el menor valor de infiltración del suelo (5.2 cm/h) y un valor de densidad aparente en húmedo de 1.31 g/cm³.

Según Lavelle et al. (1987) pueden haber muchos capullos durante todo el año, ya que la reproducción se da siempre que el suelo esté húmedo; sin embargo, el mayor número de huevos en esta cobertura puede explicarse, dado que aquella presentó el mayor número de lombrices adultas. En esta especie se presenta cuidado parental, la lombriz adulta construye cámaras de incubación donde es depositado el capullo para protegerlo y con alimentación para las crías.

La construcción de nidos es una forma de inversión parental previa a la puesta, así como también lo es el cuidado de la puesta y proporcionar alimento tras el nacimiento a las crías (Clutton, 1991, citado por Hernández, 2008). Por tal razón, donde están las lombrices adultas hay huevos.

Las lombrices adultas de la especie *P. corethrurus* se encontraron en menor cantidad respecto de los huevos y de las lombrices juveniles, destacándose su presencia en la cobertura con pasturas. Esto se explica porque los adultos tienen una tasa de crecimiento mucho menor que las lombrices juveniles en cualquier contenido de humedad, alcanzando máximos a 60 % de humedad (Lavelle et al., 1987). Por esta razón, las lombrices adultas se encontraron mayormente en la cobertura con pasturas, ya que esta presentó un porcentaje alto de humedad con un valor de 51.96 % y el valor más bajo de infiltración básica de las tres coberturas.

Desde el análisis estadístico con la prueba Duncan (tabla 9), se encontró que las diferencias de medias (DM) con valores mayores al valor crítico de la razón mínima de significación (RMS) presentan diferencias significativas a 1%, mientras que las diferencias de medias (DM) con valores menores al valor crítico de la razón mínima (RMS) no presentan diferencias significativas entre los tratamientos comparados.

Diferencia de medias		
Bloque		
BIII = B + P	BI = pasturas	BII = B + M
140.00	167.67	203.67
BII-BIII	BII-BI	
63.67	36.00	
BI-BIII		25.78
27.67		

Tabla 10. Diferencia de medias en el bloque.

Fuente: Gutiérrez (2012)

En la tabla 10 la comparación de medias en cuanto a los bloques muestra que existen diferencias entre BII con BIII y BI y BI con BIII. Se puede concluir entonces que el orden de significación será BII, BI, BIII, es decir:

BII = baby blue + maní; BIII = baby blue + pasturas; BI = pasturas.

Diferencias de medias			Diferencias de medias		
Factor A			Factor B		
a2	a0	a1	b2	b0	b1
71.33	124.00	316.00	140.00	167.67	203.67
a1-a2	a1-a0		b1-b2	b1-b0	
244.67	192.00		63.67	36.00	
a0-a2		25.78	b0-b2		25.78
52.67			27.67		

Tabla 11. Diferencias de medias para el factor A y para el factor B.

Fuente: Gutiérrez (2012)

En la tabla 11, según la comparación, para el factor A existen diferencias entre a1 con a2 y a0 y a0 con a2. Se puede concluir entonces que el orden de significación será a1, a2, a0, es decir:

a1 = juveniles; a2 = adultas; a0 = huevos

Y para el factor B existen diferencias entre b1 con b2 y b0 y b0 con b2. Se puede concluir entonces que el orden de significación será b1, b2, b0, es decir:

b1 = compactación; b2 = infiltración; b0 = densidad aparente

En cuanto al análisis de suelos, el predominio de *P. corethrurus* en las diferentes parcelas de ensayo se explica además porque según Feijoo et al. (2004), la pérdida de carbono ocurre generalmente en los ambientes perturbados donde la tala de la estructura aérea de la vegetación incrementa la intensidad lumínica, acelera la descomposición de la hojarasca y disminuye la humedad en el piso. Así Feijoo (1993), citado por Feijoo et al. (2004), afirma que *P. corethrurus* y otras especies peregrinas tienen un rango restringido de carbono entre 2.4 y 5.9%, lo que

coincide con los valores de carbono en las tres parcelas de ensayo: 3.5% para pasturas (P), 3.5 para baby blue maní (BM) y 3.8 para pasturas baby blue (PB).

Con relación al pH, la presencia de *P. corethrus* en las tres parcelas de ensayo se explica porque estos son suelos perturbados con bajos niveles de carbono y altos niveles de pH. Según Feijoo et al. (2004) el rango de pH para las especies exóticas como *P. corethrus* está en el rango 4.4-7.2; en las parcelas de ensayo, el pH fue igual para todas (4.9), condición favorable para la especie encontrada. Así, en los suelos no perturbados donde el C tiende a ser alto y el pH bajo habitan las especies endémicas (Feijoo et al., 2004).

La granulometría que refiere Feijoo et al. (2004) como adecuada para la especie *P. corethrus* está en un amplio rango entre 12 y 35% de arcilla en las parcelas de ensayo; la granulometría en la parcela con kikuyo (*P. clandestinum*) (P) fue de 32.1% de arcillas; en la parcela con eucalypto blanco (*E. globulus*; sin. *E. pulverulenta*) variedad baby blue y maní forrajero (*A. pintoii*) (BM) fue de 31.9% de arcillas y en la parcela con kikuyo (*P. clandestinum*) y eucalypto blanco (*E. globulus*; sin. *E. pulverulenta*) variedad baby blue fue de 33.9 %, todas ellas adecuadas para el desarrollo óptimo de *P. corethrus*.

Conclusiones

El predominio de la especie *P. corethrus* como especie única encontrada permitió identificar en campo su origen exótico y su utilidad como especie indicadora de ambientes perturbados; su posición en el suelo por debajo de los 20 cm del suelo y las características de compactación del suelo en las diferentes parcelas obligaron a cavar a una profundidad de 40 cm para evitar la pérdida de individuos. La abundancia de lombrices juveniles permitió corroborar la determinación taxonómica

de la especie, teniendo en cuenta los estudios realizados que refieren el gran predominio de lombrices juveniles en esta especie.

El muestreo de las lombrices mediante métodos estandarizados permitió observar e identificar en la zona de estudio algunas características propias de *P. corethrus*, que pudieron ser contrastadas con el referente teórico.

El estudio taxonómico y funcional de la especie encontrada *P. corethrus* en las parcelas de ensayo resulta determinante para garantizar su utilidad, del mismo modo la separación de individuos de la especie *P. corethrus* de acuerdo con sus estados de desarrollo (huevos, juveniles y adultas). Así, *P. corethrus* respecto del origen geográfico es una especie exótica que presenta una distribución global y un amplio grado de tolerancia a diferentes valores edáficos (Fragoso, 2001; Huerta et al., 2005). Desde el punto de vista funcional, es una especie endógena (habitante del suelo y consumidora de tierra) estrictamente geófaga, clasificada como polihúmica-mesohúmica (Lavelle et al., 1987). Además, es una especie compactadora que construye y mantiene una estructura según macroagregados resistentes en el suelo.

El diseño experimental en arreglo factorial 3 X 3 con bloques completamente al azar permitió comprobar la hipótesis de que existe una relación funcional entre la presencia de las lombrices *Pontoscolex corethrus* y sus diferentes etapas de desarrollo: juveniles, adultos y huevos, asociada a las condiciones físicas del suelo: compactación y densidad aparente, hidrológicas (infiltración básica) y confirmar la utilidad de las lombrices como indicadoras de la calidad del suelo.

Las condiciones climáticas en las que se desarrolló la presente investigación (evento extremo de invierno)

se constituyen en valor agregado que permitió evaluar el comportamiento de *P. corethrurus* en condiciones no habituales.

La prueba Duncan (1955) propuso una prueba de rangos múltiples que combina la simplicidad de la prueba de Student-Newman-Keuls con la ventaja de potencia que su estadístico proporciona; es decir, la prueba se aparta del procedimiento de S-N-K en el cual se emplea un nivel de significación constante en todas las etapas de la prueba. Para Duncan este nivel de significación es variable y depende de número de medias que entren en la prueba. La idea es que a medida que el número de medias que se prueban aumenta, menor es la probabilidad de que se asemejen, y es más fácil encontrar diferencias significativas. Por esta razón, en la investigación se aplicó Duncan.

Referencias bibliográficas

- Acosta Triviño, R., Bedoya, S., Parra, E. P. y Rivas Rentería, A. (1994). *Contribución al estudio taxonómico de oligoquetos encontrados en el municipio La Calera, vereda San José, departamento de Cundinamarca* (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Araujo, Y. y López Hernández, D. (1999). Caracterización de las poblaciones de lombrices de tierra en un sistema de agricultura orgánica ubicado en una sabana en el Amazonas venezolano. *Ecotropicos*, 12(1), 49-55.
- Bouche, M. B. (1972). Lombriciens de France: ecologie et systematique. *Ann. Sol. Ecol. Anim.* Número Especial, 72, 1-671. *Ann. Sol. Anim.* (Número Especial), 1-167.
- Chamorro Bello, C. (1981). *Correlación entre las poblaciones de lombriz de tierra y las características fisicoquímicas de tres suelos seleccionados de la sabana de Bogotá* (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Feijoo, A., Quintero, H., Fragoso, C. y Moreno, A. G. (2004). Patrón de distribución y listado de especies de las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(2), 197-220.
- Feijoo, A., Zúñiga, M. C., Quintero, H. y Lavelle, P. (2007). Relaciones entre el uso de la tierra y las comunidades de lombrices en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Pastos y Forrajes*, 30(2).
- Fragoso, C. (2001). Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoológica Mexicana*, Número especial 1, 131-171.
- Fuentes Baca, A. M., Chamorro, C. B. y León, T. S. (1998). Caracterización ecológica de lombrices nativas (*Pheretima* sp., *Eudovoscolex* sp. y *Periscollex* sp.) bajo diferentes usos del suelo (Guaviare, Colombia). *Agronomía Colombiana*, XV(2,3), 194-203.
- Fuentes Bacca, A. (1997). *Lombrices nativas bajo diferentes usos del suelo como transformadoras de residuos biodegradables* (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- George, A. (2006). *Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica* (Tesis de maestría). Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación.
- Huerta, E., Rodríguez Olán, J., Evia Castillo, I., Montejo Meneses, E., De la Cruz Mondragón, M. y García Hernández, R. (2005, diciembre de 2005). La diversidad de lombrices de tierra

- (Annelida Oligochaeta) en el estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 21(42), 73-83.
- Juárez, E. y Rico, A. (1995). *Mecánica de suelos*. México.
- Lavelle, P., Barois, I., Cruz, I., Fragoso, C., Hernández, A., Pineda, A. et al. (1987). Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. *Biology and Fertility of Soils*, 5(3), 188-194.
- Montenegro, H. y Malagón, D. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Pearce, T. G. (1976). *A guide to the identification of common British Earthworms*. Londres.
- Righi, G. (1971). Sobre a família Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. *Arquivos de Zoologia*, 20, 1-95.
- Sastre Torres, D. A. (2010). *Evaluación de impactos ambientales del plan de manejo para la recuperación de la laguna Verde, municipio de Zipacón* (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Sevilla Guio, F. (2002). *Distribución y abundancia de la macrofauna asociada con unidades locales de clasificación de suelos en la microcuenca Potrerillo, Cauca, Colombia* (Tesis de grado). Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Tapia Coral, S. C., Luizao, F. J., Barros, E., Pashanasi, B. y Del Castillo, D. (2006). Effect of *Pontoscolex corethrus* Muller, 1857 (Oligochaeta: Glossoscolecidae) Inoculation on Litter Weight Loss and Soil Nitrogen in Mesocosms in the Peruvian Amazon. *Caribbean Journal of Science*, 42(3), 410-418.
- Uribe, S., Huerta, E., Geissen, V., Mendoza, M., Godoy, R. y Aarón, J. (2012). *Pontoscolex corethrus* (annelida: Oligochaeta) indicador de la calidad del suelo en sitios de *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) con manejo tumba y quema. *Revista de Biología Tropical*, 60(4), 1543-1552.