

Artículo científico

Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba

Evaluation of the macrofauna as indicator of the health status in seven land use systems, in Cuba

Grisel de la Caridad Cabrera-Dávila¹, Ana América Socarrás-Rivero¹, Guillermina Hernández-Vigoa¹, Daniel Ponce de León-Lima², Yojana Irina Menéndez-Rivero¹ y Jorge Alberto Sánchez-Rendón¹

¹Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA. Carretera Varona 11 835, Boyeros, La Habana 19, CP 11900, Cuba

²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Santa Elena, Ecuador

Correo electrónico: grisel17@ecologia.cu

Resumen

Se estudió el efecto en la macrofauna edáfica de siete sistemas de uso de la tierra, y se sugirieron indicadores faunísticos para evaluar el impacto del uso de la tierra y el estado de salud del medio edáfico. Los muestreos se efectuaron en la estación lluviosa, entre los años 2009 y 2013, según la metodología estándar del TSBF, y se estudiaron seis monolitos de suelo por réplica de sistema de uso. La determinación de la composición, la riqueza y la abundancia de la macrofauna se realizó a nivel taxonómico de familia. Se efectuó un análisis de varianza no paramétrico, para detectar posibles diferencias en la abundancia entre sistemas de uso de la tierra. Como indicadores faunísticos se propusieron los siguientes: detritívoros/no detritívoros y lombrices/hormigas. Tales relaciones mostraron la superioridad de individuos detritívoros y lombrices de tierra con valores cercanos o mayores que 1, sobre todo en los bosques, donde hubo una mayor cobertura y protección del suelo. En los sistemas de uso con un mayor grado de disturbio se obtuvieron valores próximos a cero. Una abundancia alta de detritívoros o de lombrices de tierra y una menor cantidad de individuos no detritívoros o de hormigas pueden representar sistemas con poca o ninguna alteración y un estado favorable de fertilidad. Un resultado inverso evidencia condiciones más intensas de perturbación y degradación del suelo. El indicador lombrices/hormigas resulta de mayor utilidad práctica, ya que los grupos involucrados son de fácil identificación y no necesitan de un conocimiento especializado.

Palabras clave: degradación del suelo, fertilidad del suelo, indicador biológico.

Abstract

The effect of seven land use systems on the soil macrofauna was studied, and fauna indicators were suggested to evaluate the impact of land use and the health status of the soil medium. Sampling was conducted in the rainy season, between 2009 and 2013, according to the TSBF standard methodology, and six soil monoliths were studied per land use replica. The macrofauna composition, richness and abundance were determined to the taxonomy level of family. A non-parametric variance analysis was made, to detect possible differences in the abundance among land use systems. As fauna indicators, the following were proposed: detritivores/non-detritivores and earthworms/ants. Such relations showed the superiority of detritivore individuals and earthworms with values close to or higher than 1, especially in forests, where there was higher soil cover and protection. In land use systems with higher disturbance degree values close to zero were obtained. A high abundance of detritivores or earthworms and a lower quantity of non-detritivore individuals or ants can represent systems with little or no disturbance and favorable fertility status. An inverse result shows more intense soil disturbance and degradation conditions. The earthworms/ants indicator is of higher practical usefulness, because the groups involved are easily identified and do not need specialized knowledge.

Keywords: soil degradation, soil fertility, biological indicator

Introducción

La macrofauna edáfica agrupa a los macroinvertebrados del suelo fácilmente detectables (mayores de 2 mm de diámetro) y realiza diferentes procesos y servicios ecosistémicos, que permiten mantener la calidad y la fertilidad del suelo. Entre los grupos funcionales de la macrofauna que

aseguran la capacidad productiva del suelo se encuentran los detritívoros, los herbívoros, los omnívoros y los depredadores. Las interacciones entre estos gremios están determinadas por los recursos disponibles en el ecosistema, así como por la intensidad de su manejo (Zerbino *et al.*, 2008; Cabrera-Dávila *et al.*, 2011; Marichal *et al.*, 2014).

La pérdida de algún grupo con función clave, como es el caso de los detritívoros –que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica–, conlleva a largo plazo la disminución de la productividad del suelo. La macrofauna puede ser utilizada como indicador biológico del impacto del uso de la tierra y de la calidad del ambiente edáfico, debido a la función ecológica que desempeña y a su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo; también a su variación en un corto período de tiempo, como producto de los cambios de cobertura y transformación en la vegetación (Rousseau *et al.*, 2013; Gómez Pamies *et al.*, 2016; Pauli *et al.*, 2016).

En particular en el trópico húmedo, diversas investigaciones se han desarrollado con el propósito de utilizar la macrofauna como indicador del funcionamiento del suelo. Algunos estudios caracterizaron inicialmente las comunidades edáficas a partir de su riqueza taxonómica, diversidad, densidad, biomasa y composición funcional, y con ello evaluaron la intensidad del uso de la tierra (Feijoo *et al.*, 2007; Rossi *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2016; Mesa-Pérez *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2016). Otros han propuesto índices o formulaciones que muestran solo la abundancia y la diversidad de la macrofauna, o relacionan estas variables con propiedades físicas y químicas del suelo; en este sentido, Barros *et al.* (2002), Lavelle *et al.* (2003), Velásquez *et al.* (2007) y Ruiz *et al.* (2011) señalaron el índice de densidad lombrices/termitas, el indicador multifuncional de calidad del suelo (GISQ) y el índice biológico de calidad del suelo (IBQS).

En Cuba, los primeros estudios sobre la edafofauna tenían el objetivo de determinar su abundancia y diversidad. Posteriormente, la caracterización de la macrofauna se empleó para interpretar el efecto de los ecosistemas seminaturales y los perturbados sobre estas comunidades. En uno de los últimos artículos sobre esta temática se reseñaron las particularidades biológicas y funcionales de la macrofauna para ser empleada como bioindicador, así como los resultados de los estudios antes mencionados. En este artículo también se explicó la posible utilidad de la macrofauna detritívora, y en especial de las lombrices de tierra, para advertir sobre un estado adecuado de fertilidad, y se señaló a las hormigas como indicadores de perturbación del medio edáfico (Cabrera-Dávila, 2012).

La investigación actual se distingue porque compila todos los resultados obtenidos en un gradiente de uso de la tierra, incluyendo sistemas de

uso de reciente estudio, desde ecosistemas seminaturales y agroforestales con poca perturbación hasta sistemas agrícolas muy perturbados, algunos solo con fertilización orgánica. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de siete sistemas de uso de la tierra sobre la macrofauna edáfica, y a partir de ello sugerir, por primera vez para Cuba, indicadores de la macrofauna para diagnosticar el impacto del uso de la tierra y el estado de salud del suelo.

Materiales y Métodos

Sistemas de uso de la tierra

Se analizaron siete sistemas de uso de la tierra con diferentes niveles de conservación/perturbación: bosques primarios (Bp), bosques secundarios (Bs), sistemas agroforestales (Sa), pastizales (P), cañaverales (C), cultivos varios (Cv) y agroecosistemas urbanos (Au), los cuales estaban ubicados en el occidente de Cuba. El suelo en todos los sistemas de uso se correspondió con el tipo genético Ferralítico Rojo (FRR), excepto en los bosques primarios que se ajustó al tipo Ferralítico Amarillento (Frs A), según la clasificación de los suelos de Cuba (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015). El resto de las características de los sistemas se muestran en la tabla 1.

Recolecta en campo y análisis de la macrofauna edáfica

El estudio se realizó durante los años 2009 y 2013, solo en la estación lluviosa, ya que en esta época es cuando existe una mayor actividad y abundancia de los macroinvertebrados en el suelo producto del beneficio de las lluvias. La recolección de la macrofauna se adaptó a la metodología estándar descrita por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical o TSBF (Anderson y Ingram, 1993). Se estudiaron entre dos y tres réplicas de los sistemas de uso de la tierra, y en cada réplica se extrajeron seis monolitos de 25 x 25 x 30 cm distanciados entre 20 y 50 m, donde se recolectó manualmente la fauna visible *in situ*. Teniendo en cuenta la cantidad de réplicas por sistema de uso se analizó un total de 12 monolitos en Bp, Sa y Au, y 18 monolitos en Bs, P, C y Cv.

La macrofauna se identificó hasta el nivel taxonómico de familia (Brusca y Brusca, 2003), y la caracterización ecológica de estas comunidades se realizó también a este nivel. Para la separación de los grupos funcionales se siguió el criterio de Zerbino *et al.* (2008).

Tabla 1. Descripción de los sistemas de uso de la tierra

Sistema de uso de la tierra	Simbología o acrónimo	Réplicas por sistema	Localización	Características
Bosques primarios	Bp	2	Reserva de la biosfera Sierra del Rosario, Artemisa	Vegetación de bosque tropical siempreverde medio, altura aproximada de 450 msnm. En estado natural de conservación.
Bosques secundarios	Bs	3	Llanura Roja, Mayabeque	Vegetación secundaria de bosque semideciduo. En estado de regeneración natural y semiconservado.
Sistemas agroforestales	Sa	2	Artemisa y Mayabeque	Sistemas silvopastoriles de leucaena, con más de 15 años de establecimiento y en pastoreo. En un estado moderado de intervención antrópica.
Pastizales	P	3	Llanura Roja, Artemisa y Mayabeque	Sistemas naturalizados de hierba de guinea y pasto estrella, con más de 20 años de explotación y bajo pastoreo. En un estado moderado de intervención antrópica.
Cañaverales	C	3	Llanura Roja, Artemisa y Mayabeque	Con más de 20 años de explotación y fertilización química. En un estado intenso de intervención antrópica.
Cultivos varios	Cv	3	Llanura Roja, Artemisa y Mayabeque	Cultivo principal de papa, con más de 10 años de explotación, empleo de maquinaria y fertilización química. En un estado intenso de intervención antrópica.
Agroecosistemas urbanos	Au	2	Municipio Boyeros, La Habana	Huertos intensivos, con cultivo de acelga y rotación de otros cultivos, con fertilización orgánica. En un estado intenso de intervención antrópica.

La riqueza de la macrofauna y la dominancia de sus diferentes grupos se incluyeron en las curvas de rango/abundancia, las cuales se construyeron a partir del Log_{10} del número de individuos o abundancia relativa (π) de las familias encontradas en cada sistema de uso de la tierra (Magurran, 1989). El análisis de la riqueza de la macrofauna contempló el número de familias observadas y estimadas, estas últimas determinadas mediante el estimador de riqueza no paramétrico Bootstrap, según el programa EstimateS 8.2.0.

Indicadores de la macrofauna para evaluar el estado de salud del suelo

Se calcularon las relaciones entre la abundancia o número de individuos de diferentes grupos taxonómicos o funcionales de la macrofauna,

tales como: organismos detritívoros/no detritívoros y lombrices/hormigas. El análisis se efectuó mediante la división de la abundancia de los grupos numeradores contra los grupos denominadores en estas relaciones, y el análisis de su comportamiento y del valor generado permite evaluar el impacto de la intensidad del uso de la tierra y el estado de salud del medio edáfico, en cualquier tipo de suelo y ecosistema, tanto en la época de lluvia como en la de seca.

Análisis estadístico. Se utilizó un análisis de varianza no paramétrico de una vía (ANOSIM) sobre la base de permutaciones, para evaluar la hipótesis H_0 de no diferencias estadísticamente significativas entre sistemas de uso de la tierra en cuanto a la abundancia de cada grupo funcional y de la macrofauna total. Cada ANOSIM se realizó

con una matriz de distancia euclidiana y usando 9999 permutaciones. Como software estadístico se empleó PAST versión 3.11 (Hammer, 2017).

Resultados

Riqueza y dominancia de la macrofauna.

En las curvas de rango/abundancia para la riqueza observada y la estimada por Bootstrap, se encontró una riqueza superior de familias de la macrofauna en los sistemas que ofrecen una mayor cobertura al suelo, tales como: los bosques primarios (Bp), los bosques secundarios (Bs) y los sistemas agroforestales (Sa); en comparación con aquellos que tienen un mayor efecto perturbador sobre el suelo, en este caso: los pastizales (P), los cañaverales (C), los cultivos varios (Cv) y los agroecosistemas urbanos (Au). Estas curvas, además, mostraron que la familia dominante de la macrofauna fue Formicidae (hormigas) en la mayoría de los sistemas de uso de la tierra. No obstante, en los sistemas Bp, Bs, Sa y P dicho grupo prevaleció con similar abundancia junto a las familias detritívoras, como por ejemplo: Termitidae (termitas), Glossoscolecidae (lombrices de tierra), Armadillidae y Trachelipidae (cochinillas); mientras que en los sistemas C, Cv y Au su predominio fue más marcado (fig. 1).

Abundancia de la macrofauna y sus grupos funcionales. El análisis estadístico de la abundancia promedio de la macrofauna total mostró diferencias entre los sistemas de uso. También se halló un efecto significativo entre los sistemas para la abundancia de todos los grupos funcionales, aunque es válido señalar que hubo mayor disimilitud para los detritívoros y depredadores y menor para los herbívoros y omnívoros (tabla 2).

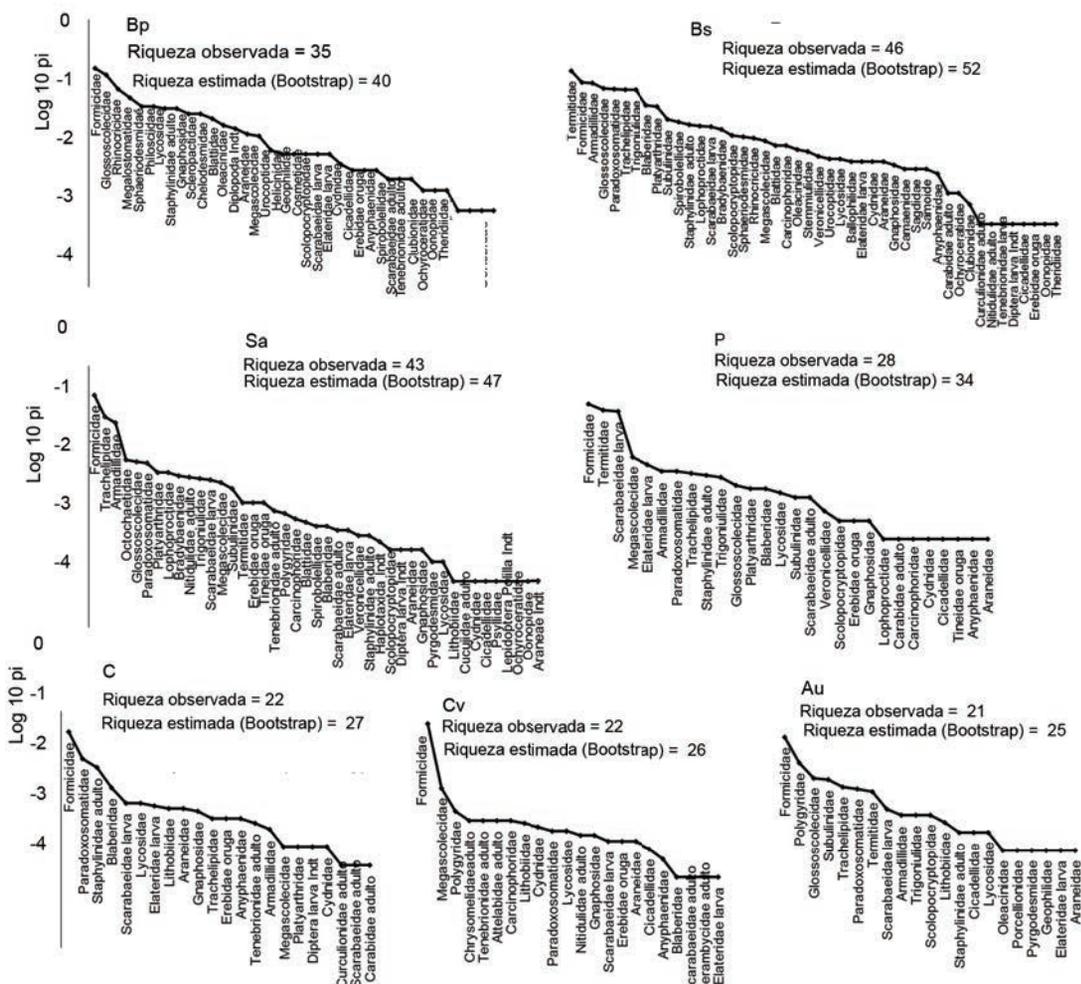
La abundancia de la macrofauna fue mayor en Sa, seguido por Bs y Bp. Los valores más bajos se hallaron en los restantes cuatro sistemas de uso estudiados. La alta abundancia de la macrofauna en Sa estuvo determinada por los elevados valores derivados del número de individuos de detritívoros y omnívoros. Estos últimos estuvieron representados en su totalidad por las hormigas en todos los sistemas de uso de la tierra. Igualmente en Bs y Bp hubo mayor representatividad de detritívoros en primer lugar, seguidos por los omnívoros y depredadores con abundancia cercana entre ellos. En el caso de P se destacaron casi en igual magnitud los detritívoros, los herbívoros y los omnívoros. En los otros sistemas de uso de la tierra prevalecieron, fundamentalmente, los omnívoros, aunque en Au

dominaron con muy poca diferencia los detritívoros (tabla 2).

Indicadores de la macrofauna. La aplicación de las relaciones entre la macrofauna detritívora y la no detritívora (herbívoros + omnívoros + depredadores), y en particular entre el grupo detritívoro de lombrices de tierra y el grupo omnívoro de hormigas, evidenció una alta abundancia de individuos detritívoros y de lombrices; así como valores de los indicadores cercanos o mayores a 1 en los ecosistemas con influencia arbórea y mayor protección sobre el suelo, sobre todo en Bp y Bs, respecto a los restantes sistemas de vegetación herbácea y cultivada que tuvieron diferentes niveles de disturbio, como P, C, Cv y Au (fig. 2A y 2B). Solo para el indicador lombrices/hormigas en los sistemas de uso Sa, que presentaron cobertura arbórea como los bosques pero estuvieron sometidos a una intervención antrópica moderada por la práctica del silvopastoreo, se observó una diferencia más acentuada entre las hormigas y las lombrices, con dominio de las primeras, lo que se manifestó en un valor de la relación por debajo de 1 y próximo a 0 (fig. 2B).

Discusión

Los mayores valores de riqueza y abundancia total de la macrofauna, así como el predominio de grupos detritívoros en los bosques y en los sistemas agroforestales, respondieron a la mayor diversidad de recursos que brindan estos ecosistemas, por ejemplo: sombra y protección del suelo, alta humedad edáfica, bajas temperaturas, aporte de hojarasca y detritos, cuyos elementos contribuyen a la subsistencia de la edafofauna. Principalmente en los bosques secundarios de regeneración natural, donde se están rescatando las características de la vegetación primaria u original, ocurre la colonización de la fauna exótica y la nativa (Pashanasi, 2001); lo que quizás explica la mayor cantidad de macrofauna asociada a estos bosques con respecto a la encontrada en los bosques más conservados o definidos como primarios. Los otros sistemas de uso no favorecieron el desarrollo de las comunidades de la macrofauna, debido al pastoreo y al pisoteo de los animales y a la intensa labranza (a través de la maquinaria y la fertilización química), lo cual se traduce en una mayor degradación edáfica y pérdida de la calidad biológica del suelo. Solo los agroecosistemas urbanos, a pesar de hallarse en constante laboreo, se alejaron de lo anteriormente mencionado, ya que en ellos se practicó la fertilización orgánica, las



Bp: bosques primarios, Bs: bosques secundarios, Sa: sistemas agroforestales, P: pastizales, C: cañaverales, Cv: cultivos varios, Au: agroecosistemas urbanos, Indt: familia indeterminada.

Figura 1. Curvas de rango/abundancia de la macrofauna del suelo, con la riqueza de familias observadas y estimadas mediante Bootstrap.

Tabla 2. Abundancia de la macrofauna del suelo (media ± EE) en los diferentes sistemas de uso de la tierra.

Sistema de uso de la tierra	Macrofauna total	Detritívoros	Herbívoros	Omnívoros	Depredadores
Bp	359 ± 102,3 ^b	213 ± 64,2 ^b	8 ± 3,0 ^b	67 ± 27,1 ^c	71 ± 8,0 ^a
Bs	523,6 ± 140,4 ^b	414 ± 137,2 ^{ab}	14,3 ± 2,9 ^b	49,3 ± 23,1 ^c	46 ± 10,7 ^{ab}
Sa	978 ± 99,6 ^a	574,5 ± 115,9 ^a	39,5 ± 22,5 ^a	351 ± 16,4 ^a	13 ± 10,0 ^c
P	216,3 ± 88,2 ^c	86,3 ± 30,5 ^c	51 ± 18,5 ^a	64,6 ± 52,9 ^c	14,3 ± 3,2 ^c
C	133 ± 34,3 ^c	34,3 ± 31,8 ^c	7 ± 3,2 ^b	59 ± 44,0 ^c	32,6 ± 7,3 ^b
Cv	176,3 ± 10,7 ^c	25 ± 3,2 ^c	12,6 ± 5,5 ^b	130 ± 4,0 ^b	8,6 ± 0,3 ^c
Au	106,5 ± 44,6 ^c	53,5 ± 38,6 ^c	3,5 ± 0,5 ^c	42 ± 3,0 ^c	7,5 ± 2,5 ^c
ANOSIM (R)	0,27***	0,35***	0,15***	0,16***	0,23***

Medias con letras distintas difieren significativamente ($p < 0,05$) por la prueba de corrección de Bonferroni. Valores del estadístico R del ANOSIM y su nivel de significación a $p < 0,0001$.

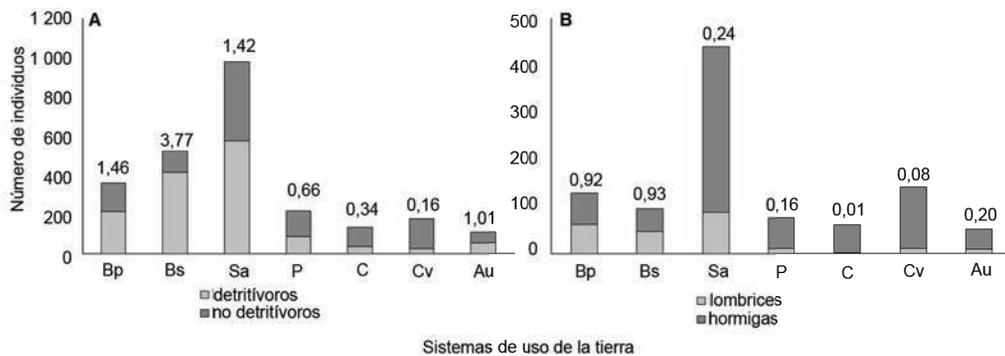


Figura 2. Número de individuos de detritívoros/no detritívoros (A) y de lombrices/hormigas (B), como indicadores de la macrofauna. (Los valores encima de las barras, en cada sistema de uso de la tierra, son el resultado de la división entre los numeradores y los denominadores de las relaciones).

asociaciones de cultivos y otros manejos agroecológicos. La macrofauna en este tipo de sistema estuvo representada fundamentalmente por organismos detritívoros, que se favorecieron con las referidas prácticas.

A escala mundial existen datos similares a los logrados en este trabajo, como los reportados por: Negrete-Yankelevich *et al.* (2007), para bosques prístinos y de sucesión secundaria en las montañas nubladas mexicanas; Rossi *et al.* (2010), para agroecosistemas en Guyana Francesa; Bao-Ming *et al.* (2012), para espacios urbanos en China; Velásquez *et al.* (2012) y Moura *et al.* (2015), para pastizales de la Amazonia brasileña que integraron diferentes especies, entre ellas *Leucaena leucocephala*; Vasconcellos *et al.* (2013), para bosques semidecuidos de Brasil con diferentes edades; Rousseau *et al.* (2013), quienes estudiaron distintos cultivos, sistemas agroforestales y bosques secundarios de América Central; Durán-Bautista y Suárez-Salazar (2013) y Suárez-Salazar *et al.* (2015), que evaluaron el efecto de diferentes arreglos agroforestales en la Amazonia Colombiana; Siqueira *et al.* (2016), que compararon monocultivo de caña con diferentes tipos de vegetación natural en el estado de Pernambuco en Brasil; y Chávez-Suárez *et al.* (2016), quienes iniciaron estudios en ecosistemas ganaderos de montaña en el oriente de Cuba. De modo general, estos autores encontraron variación en las comunidades de la macrofauna, tales como la desaparición y sustitución de su composición nativa y la disminución drástica de su riqueza taxonómica y su abundancia, por influencia de la pérdida de cobertura arbórea y de la conversión de ecosistemas naturales a plantaciones y sistemas de cultivo.

En cuanto a los indicadores de la macrofauna propuestos, se plantea que cuando hay una abundancia alta e incluso superior de organismos detritívoros o de lombrices de tierra, y una menor representación de individuos no detritívoros o específicamente de hormigas, los sistemas podrían tener poca o ninguna alteración en el ambiente edáfico y un posible estado favorable de fertilidad, como se manifestó en este estudio principalmente en los bosques. En tal sentido, los sistemas con estas características mostrarán valores cercanos a 1 o mayores, como resultado de la división entre el numerador y el denominador de las relaciones. Sin embargo, un resultado inverso, con predominio de organismos no detritívoros y de hormigas, podría indicar sistemas o prácticas con un impacto negativo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y, por ende, sobre su calidad, lo que ocurrió en los pastizales y en los restantes sistemas agrícolas intensivos y con manejos desfavorables. En estos casos los valores de las relaciones se encontraron por debajo de 1 y próximos a 0.

Los indicadores de abundancia y representación serían los dos variantes de mayor contraste, por lo que no siempre se podría obtener el resultado ya descrito. Los indicadores se proponen como una herramienta útil y rápida para inferir acerca de un posible estado de salud del suelo, realizar su evaluación primaria y continuar el monitoreo de su calidad. Su propuesta se origina a partir de los resultados de este trabajo y, en general, los alcanzados en el país y también en el mundo; los cuales evidencian el daño ocasionado a la fauna detritívora y a las lombrices de tierra, generado esencialmente por la disminución o falta de cobertura vegetal y

aporte de hojarasca, el profundo laboreo en el suelo y el uso de productos químicos, así como por las condiciones no idóneas de humedad, temperatura y contenido de materia orgánica en el medio edáfico. En cambio otros grupos, como las hormigas, se mantienen, resisten y proliferan ante estas y otras situaciones de perturbación.

Zerbino *et al.* (2008) y Pinzón *et al.* (2015) obtuvieron mayor abundancia del grupo funcional detritívoros en sistemas del trópico húmedo donde se emplearon métodos de agricultura de conservación y en otros ecosistemas más preservados, y del grupo depredadores donde el uso del suelo fue más intensivo. Otros autores hallaron afectaciones en la riqueza, densidad y biomasa de las lombrices de tierra en sistemas con mayor intensidad de manejo (Feijoo *et al.*, 2007; Botina *et al.*, 2012; Bartz *et al.*, 2013).

En el caso de las hormigas, existen distintos reportes que apoyan su posible uso como indicador de perturbación del suelo o que las definen como indicadores de la calidad del hábitat (Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011; Crepaldi *et al.*, 2014). Los resultados de este estudio, como ya se planteó, ejemplifican la prevalencia y resistencia de las hormigas en sistemas degradados, sobre todo de especies invasoras como *Wasmannia auropunctata* (santanilla o santanica), *Nylanderia fulva* y *Solenopsis geminata* (hormiga brava).

Velásquez (2004) citó a la hormiga brava entre las especies que sugirieron disturbios en ecosistemas de Colombia y Nicaragua, mientras que Chanatásig-Vaca *et al.* (2011) recomendaron a este insecto para ser empleado en el monitoreo ambiental. Estos últimos autores obtuvieron una alta densidad de hormigas en monocultivo en México, en especial de *S. geminata*, lo que se explica por su tolerancia a ambientes abiertos con menor disponibilidad de recursos, expuestos al sol y con un manejo convencional de aplicación de agroquímicos y laboreo mecánico.

Una relación similar a la de las lombrices/hormigas se tuvo en cuenta anteriormente para valorar el grado de alteración en los ecosistemas, pero con el uso de termitas en lugar de hormigas (Barros *et al.*, 2002; Lavelle *et al.*, 2003). No obstante, esta relación tuvo poca aplicación ya que ambos taxones –lombrices y termitas– sufren variaciones a partir de la fragmentación, aislamiento y degradación de los hábitats (Cabrera-Dávila, 2012).

Por otra parte, se podría limitar el uso de las hormigas por la conducta social de estos insectos,

cuyas colonias están formadas por miles de individuos. No obstante, en la literatura especializada se plantea que las hormigas pueden evaluarse de igual forma que otros grupos de la macrofauna que no tienen comportamiento gregario, si el protocolo de recolecta en campo es suficientemente robusto, con las réplicas adecuadas de diferentes sistemas de uso de la tierra e igual esfuerzo de muestreo en cada una de ellas. Estas réplicas de uso se definen como estratos en un diseño estratificado, el cual resulta apropiado para estudiar el valor bioindicador de la macrofauna (Huising *et al.*, 2012).

Se reconoce la importancia del estudio integrado de las propiedades físicas, químicas y biológicas para explicar el estado del suelo, aunque es necesario señalar que utilizar indicadores biológicos en lugar de mediciones físicas y químicas tiene ventaja porque estos son los primeros en manifestar los cambios que implican los disturbios del medio; además requieren pocos recursos y un menor costo. En tal sentido es que se realiza la propuesta de los indicadores de la macrofauna, para ayudar a monitorear la evolución de la calidad del suelo, de forma rápida y práctica, a través de grupos que pueden ser fácilmente reconocidos y determinados, tanto por el personal profesional y técnico como por los propios productores en cualquier tipo de suelo y sistema de cultivo. En particular la determinación de la relación lombrices/hormigas requiere de un conocimiento menos especializado, ya que los taxones involucrados resultan de más fácil y directa identificación, fundamentalmente entre los técnicos y los productores.

Conclusiones

Tanto la riqueza taxonómica como la abundancia de la macrofauna del suelo disminuyeron ante una perturbación sostenida del medio edáfico, ocasionada por un alto grado de antropización y una mayor intensidad en el uso y manejo del suelo. La perturbación e intensidad de uso influyeron fundamentalmente sobre la macrofauna con función detritívora. Se evidenció el valor de la macrofauna para diagnosticar el estado de salud del suelo y se sugirieron con tal fin indicadores faunísticos, que consisten en las relaciones entre la abundancia de diferentes grupos de la macrofauna de fácil evaluación (detritívoros/no detritívoros y lombrices/hormigas). Asimismo, se recomienda la aplicación de estos indicadores en diferentes tipos de suelo y sistemas de uso de la tierra en Cuba. La generalización contribuirá a su comprobación y validación.

Agradecimientos

Parte de estos estudios se realizó en el marco de los proyectos «Causas de la degradación de la estructura de los suelos Ferralíticos Rojos de la Llanura Roja de La Habana» (Programa Ramal Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano PRCT: 08-22) y «Manejo de *Leucaena leucocephala* para producir leche y carne y recuperar sucesiones naturales» (Programa Ramal Diversidad Biológica DB: 1114). El primer autor también agradece la ayuda brindada, para la obtención de los resultados, por las fundaciones Idea Wild y Rufford (Rufford Small Grants for Nature Conservation); así como a la Ing. Yakelín Hernández por su trabajo de recolecta de la macrofauna en los agroecosistemas urbanos.

Referencias bibliográficas

- Anderson, J. M. & Ingram, J. S. I. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. Wallingford, UK: CAB International, 1993.
- Bao-Ming, G. E.; Zhen-Xing, L.; Dai-Zhen, Z.; Hua-Bin, Z.; Zong-Tang, L.; Chun-Lin, Z. *et al.* Communities of soil macrofauna in green spaces of an urbanizing city at east China. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 85 (2):219-226, 2012.
- Barros, E.; Pashanasi, B.; Constantino, R. & Lavelle, P. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Bio. Fert. Soils.* 35 (5):338-347, 2002.
- Bartz, Marie L. C.; Pasini, A. & Brown, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. *Appl. Soil Ecol.* 69:39-48, 2013.
- Botina, Bibiana; Velásquez, A.; Bacca, T.; Castillo, J. & Diaset, Lucimar. Evaluación de la macrofauna del suelo en *Solanum tuberosum* (Solanales: Solanaceae) con sistemas de labranza tradicional y mínima. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 16 (2):69-77, 2012.
- Brusca, R. C. & Brusca, G. J. *Invertebrates*. Sunderland, USA: Sinauer Associates, 2003.
- Cabrera-Dávila, Grisel. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes.* 35 (4):349-364, 2012.
- Cabrera-Dávila, Grisel; Robaina, Nayla & Ponce de León, D. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes.* 34 (3):331-346, 2011.
- Crepaldi, R. A.; Portilho, I. I. R.; Silvestre, R. & Mercante, F. M. Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavoura-pecuária. *Ciênc. Rural.* 44 (5):781-787, 2014.
- Chanatásig-Vaca, Cristina I.; Huerta Lwanga, Esperanza; Rojas, Patricia; Ponce-Mendoza, A.; Mendoza-Vega, J.; Morón-Ríos, A. *et al.* Efecto del uso de suelo en las hormigas (Formicidae: Hymenoptera) de Tikinmul, Campeche, México. *Acta Zool. Mex.* 27 (2):441-461, 2011.
- Chávez-Suárez, Licet; Labrada-Hernández, Yakelín & Álvarez-Fonseca, A. Macrofauna del suelo en ecosistemas ganaderos de montaña en Guisa, Granma, Cuba. *Pastos y Forrajes.* 39 (3):111-115, 2016.
- Durán-Bautista, E. H. & Suárez-Salazar, J. C. Fauna del suelo y hojarasca en arreglos agroforestales de la Amazonia Colombiana. *Momentos de Ciencia.* 10 (1):59-66, 2013.
- Feijoo, A.; Zúñiga, María C.; Quintero, H. & Lavelle, P. 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):235-249, 2007.
- Gómez Pamies, D. F.; Godoy, M. C. & Coronel, J. M. Macrofauna edáfica en ecosistemas naturales y agroecosistemas de la ecoregión Esteros del Iberá (Corrientes, Argentina). *Cienc. Suelo, Argentina.* 34 (1):43-56, 2016.
- Hammer, Ø. *PAST: Paleotological Statistics. Reference Manual. Version 3.15.* Natural History Museum. University of Oslo. 2017.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015.* Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.
- Huising, E. J.; Coe, Richard; Cares, J. E.; Louzada, J. N.; Zanetti, R.; Moreira, Fátima M. S. *et al.* Estrategias de muestreo y diseño para la evaluación de la biodiversidad bajo el suelo. En: Fátima M. S. Moreira, E. J. Huising y D. E. Bignell, eds. *Manual de biología de suelos tropicales.* México: Instituto Nacional de Ecología. p. 53-90, 2012.
- Lavelle, P.; Senapati, B. & Barros, E. Soil macrofauna. In: G. Schroth and F. L. Sinclair, eds. *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods.* Wallingford, UK: CABI. p. 303-323, 2003.
- Magurran, Anne E. *La diversidad ecológica y su medición.* Barcelona: Vedral, 1989.
- Marichal, R.; Grimaldi, M.; Feijoo, A.; Oszwald, J.; Praxedes, Catarina; Ruiz Cobo, D. H. *et al.* Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Appl. Soil Ecol.* 83:177-185, 2014.
- Martínez, Laura E.; Oñate, María T. & Cuervo, A. A. Evaluación de la diversidad de macroinvertebrados edáficos en municipios del centro del Cesar

- (Chimichagua, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico). *Luna Azul*. 43:203-228, 2016.
- Mesa-Pérez, María A.; Echemendía-Pérez, Mayra; Valdés-Carmenate, R.; Sánchez-Elías, S. & Guridi-Izquierdo, F. La macrofauna edáfica, indicadora de contaminación por metales pesados en suelos ganaderos de Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 39 (3):116-124, 2016.
- Moura, E. G.; Aguiarb, A. das C. F.; Piedadea, Alexandra R. & Rousseau, G. X. Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon. *Appl. Soil Ecol.* 86:91-99, 2015.
- Negrete-Yankelevich, S.; Fragoso, C.; Newton, A. C. & William, O. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a mexican cloud forest. *Appl. Soil Ecol.* 35: 340-355, 2007.
- Pauli, Natasha; Abbott, Lynette K.; Negrete-Yankelevich, Simoneta & Andrés, Pilar. Farmers' knowledge and use of soil fauna in agriculture: a worldwide review. *Ecol. Soc.* 21 (3):19. <http://doi.org/10.5751/ES-08597-210319>, 2016.
- Pinzón, Stefania T.; Rousseau, G. X.; Piedade, Alexandra R. da; Celentano, Danielle; Zelarayán, M. L. C. & Braun, H. La macrofauna del suelo como indicadora de degradación de bosques ribereños en la amazonia oriental brasileira. *Rev. Fac. Agron., Brasil*. 114 (1):49-60, 2015.
- Rossi, J. P.; Celini, L.; Mora, P.; Mathieu, J.; Lapiéd, E.; Nahmani, J. *et al.* Decreasing fallow duration in tropical slash-and-burn agriculture alters soil macroinvertebrate diversity: A case study in southern French Guiana. *Agric. Ecosyst. Environ.* 135 (1-2):148-154, 2010.
- Rousseau, L.; Fonte, S. J.; Téllez, O.; van der Hoek, R. & Lavelle, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecol. Indic.* 27:71-82, 2013.
- Silva, L. L. G. G. da ; Resende, A. S. de; Dias, P. F.; Correia, Maria E. F. & Scoriza, R. N. Soil macrofauna in wooded pasture with legume trees. *Ciênc. Rural*. 45 (7):1191-1197, 2015.
- Siqueira, G. M.; Silva, E. F. de F.; Moreira, Mariana M.; Santos, G. A. de A. & Silva, Raimunda A. Diversity of soil macrofauna under sugarcane monoculture and two different natural vegetation types. *Afr. J. Agric. Res.* 11 (30):2669-2677, 2016.
- Souza, Sheila T. de; Cassol, P. C.; Baretta, D.; Bartz, Marie L. C.; Klauberg Filho, O.; Mafra, Á. L. *et al.* Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 40:e0150248. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832016000100417&lng=es&nrm=iso&tlng=en, 2016.
- Suárez-Salazar, J. C.; Durán-Bautista, E. H. & Rosas-Patiño, G. Macrofauna edáfica asociada a sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agron.* 64 (3):214-220, 2015.
- Vasconcellos, R. L. F.; Segat, Julia C.; Bonfim, J. A.; Baretta, D. & Cardoso, E. J. B. N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *Eur. J. Soil Biol.* 58:105-112, 2013.
- Velásquez, E. *Bioindicadores de calidad de suelo basados en poblaciones de macrofauna y su relación con características funcionales del suelo*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agropecuarias con énfasis en Suelos. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- Velásquez, Elena; Fonte, S. J.; Barot, S.; Grimaldi, M.; Desjardins, T. & Lavelle, P. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. *Appl. Soil Ecol.* 56:43-50, 2012.
- Velásquez, Elena; Lavelle, P. & Andrade, Mercedes. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 39 (12):3066-3080, 2007.
- Zerbino, M. S.; Altier, N.; Morón, A. & Rodríguez, C. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia, Uruguay*. 12 (1):44-55, 2008.

Recibido el 28 de julio del 2016

Aceptado el 5 de mayo del 2017