

La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba

Edaphic macrofauna as biological indicator of the conservation/disturbance status of soil. Results obtained in Cuba

Grisel Cabrera

Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA

Carretera de Varona km 3 1/2 Capdevila, Boyeros, La Habana 19 CP 11900, Cuba

E-mail: grisel17@ecologia.cu

Resumen

Para predecir el estado de degradación de un suelo se utiliza un grupo de variables que abarcan sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas. La macrofauna, que incluye los invertebrados del suelo mayores de 2 mm de diámetro, es un componente biológico que puede ser usado con este fin. Tanto su riqueza taxonómica como su densidad, biomasa y composición funcional cambian en dependencia del efecto de diversos usos y manejos de la tierra. La presente reseña reafirma que las características de la macrofauna y los resultados obtenidos, principalmente en Cuba, sobre su variación en ecosistemas con diferentes niveles de antropización, avalan el uso potencial de esta fauna como indicador biológico del estado de conservación del suelo. Las investigaciones futuras deben considerar un nivel taxonómico más bajo en la identificación de la macrofauna, y relacionar su composición taxonómica y funcional con los factores climáticos y pedológicos.

Palabras clave: Conservación de suelos, fauna del suelo

Abstract

In order to predict the degradation status of a soil, a group of variables comprising its physical, chemical and/or biological properties is used. Macrofauna, which includes soil invertebrates higher than 2 mm of diameter, is a biological component that can be used for such purpose. Its taxonomic richness as well as its density, biomass and functional composition change depending on the effect of diverse land uses and managements. This review reaffirms that the macrofauna characteristics and the results obtained, mainly in Cuba, about its variation in ecosystems with different anthropization levels, support the potential use of this fauna as biological indicator of the soil's conservation status. Future studies should consider a lower taxonomic level in the identification of macrofauna, and relate its taxonomic and functional composition to the climate and pedological factors.

Key words: Soil conservation, soil fauna

Introducción

La identificación de los indicadores de la calidad del suelo es actualmente un problema universal, debido a la importancia de este recurso para la producción vegetal y para la alimentación animal y humana. Por lo general,

Introduction

The identification of soil quality indicators is currently a universal problem, due to the importance of this resource for plant production and animal and human feeding. In general, a group of variables have been used to predict the soil

se han utilizado un grupo de variables para predecir la salud del suelo, a partir del estado de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas.

Desde el punto de vista biológico, en la evaluación del estado de conservación/perturbación del suelo y del ecosistema se puede tomar en cuenta la macrofauna edáfica, la cual agrupa los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro. Muchos organismos de la macrofauna son importantes en la transformación de las propiedades del suelo, entre ellos: las lombrices de tierra (*Annelida: Oligochaeta*), las termitas (*Insecta: Isoptera*) y las hormigas (*Insecta: Hymenoptera: Formicidae*), que actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica. Otra parte de los macroinvertebrados intervienen en la trituración de los restos vegetales (e.g. *Coleoptera, Diplopoda, Isopoda, Gastropoda*) y algunos funcionan como depredadores de animales vivos de la macrofauna y la mesofauna edáfica (e.g. *Araneae, Chilopoda*) (Cabrera, Robaina, Ponce de León, 2011a).

Las comunidades de la macrofauna varían en su composición, abundancia y diversidad, en dependencia del estado de perturbación del suelo causado por el cambio de uso de la tierra, lo que permite valorar estas comunidades como bioindicadores de calidad o alteración ambiental (Pashanasi, 2001; Lavelle, Senapati y Barros, 2003; Ruiz, 2007; Velásquez *et al.*, 2009; Cabrera, Robaina, Ponce de León, 2011b).

Este trabajo resume las características biológicas, ecológicas y funcionales de la macrofauna edáfica y los resultados obtenidos, principalmente en Cuba, sobre su variación en diferentes usos de la tierra, que avalan la utilización potencial de esta fauna como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo.

Características de la macrofauna para su uso como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo

En la literatura se han abordado varias características para el uso de un determinado grupo taxonómico como bioindicador, basado en este

health, from the status of its physical, chemical and/or biological properties.

From the biological point of view, in the evaluation of the soil and ecosystem conservation/disturbance status the edaphic macrofauna can be taken into consideration, which groups the invertebrates higher than 2 mm in diameter. Many macrofauna organisms are important in the transformation of soil properties, among them: earthworms (*Annelida: Oligochaeta*), termites (*Insecta: Isoptera*) and ants (*Insecta: Hymenoptera: Formicidae*), which act as engineers of the ecosystem in pore formation, water infiltration and humification and mineralization of organic matter. Another group of macroinvertebrates participates in the grinding of plant remains (e.g. *Coleoptera, Diplopoda, Isopoda, Gastropoda*) and others function as predators of live animals of the edaphic macrofauna and mesofauna (e.g. *Araneae, Chilopoda*) (Cabrera, Robaina, Ponce de León, 2011a).

Macrofauna communities vary in their composition, abundance and diversity, depending on the disturbance status of the soil caused by the change of land use, which allows considering these communities as bioindicators of environmental quality or alteration (Pashanasi, 2001; Lavelle, Senapati y Barros, 2003; Ruiz, 2007; Velásquez *et al.*, 2009; Cabrera, Robaina, Ponce de León, 2011b).

This work summarizes the biological, ecological and functional characteristics of the edaphic macrofauna and the results obtained, mainly in Cuba, about their variation in different land uses, which endorse the potential utilization of this fauna as biological indicator of the conservation/disturbance status of the soil.

Characteristics of the macrofauna for its use as biological indicator of the soil conservation/disturbance status

In literature several characteristics have been approached for the use of a certain taxonomic group as bioindicator, based on this concept. The invertebrates that integrate the soil macrofauna manifest some of these traits, which justifies their

concepto. Los invertebrados que integran la macrofauna del suelo manifiestan algunos de estos rasgos, lo cual justifica su utilización como indicadores biológicos. Entre ellos se pueden señalar: la ventaja de su diversificación taxonómica y ecológica, sus hábitos relativamente sedentarios, la presencia a lo largo del año, y la posibilidad de que sean manipulados e identificados (tratamiento taxonómico). También su corto período entre generaciones permite una rápida respuesta poblacional a los cambios ambientales, y su alta densidad y capacidad de reproducción posibilitan un muestreo intensivo, sin que ello provoque desequilibrio en la comunidad. Otras características son: su importancia funcional en los ecosistemas y una respuesta aparentemente previsible ante las perturbaciones (Brown, 1997; McGeoch, 1998; Jones y Eggleton, 2000; McGeoch, van Rensburg y Botes, 2002). Además, el hecho de que sean relativamente fáciles de ver, identificar y manipular en condiciones de campo, para ser evaluados por los productores, es otro aspecto válido en su elección como bioindicadores (Zerbino, 2005).

Como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo, la macrofauna edáfica debe estar relacionada con atributos físicos y químicos de este, que a la vez manifiestan la productividad del ecosistema. Dentro de este tipo de organismo se encuentran las lombrices de tierra, que, por ser de cuerpo blando y limitada movilidad, son afectadas por factores como el clima, la alimentación, la humedad, la textura y las condiciones químicas del suelo; por lo que manifiestan cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (Chocobar, 2010). Las lombrices de tierra tienden a prevalecer en ambientes edáficos húmedos, no compactados y con alto contenido de materia orgánica.

También los organismos epigeos con función detritívora, representados fundamentalmente por los diplópodos (milpiés), isópodos (cochinillas), algunos coleópteros (escarabajos) y gastrópodos (caracoles), pueden ser utilizados para indicar el estado de perturbación en el medio edáfico. Ellos viven y se alimentan en la superficie del suelo,

utilización as biological indicators. Among them the following can be mentioned: the advantage of their taxonomic and ecological diversification, their relatively sedentary habits, the presence throughout the year, and their possibility to be manipulated and identified (taxonomic treatment). Their short period between generations also allow a fast population response to environmental changes, and their high density and reproduction capacity allow intensive sampling, without causing unbalance in the community. Other characteristics are: their functional importance in ecosystems and an apparently foreseeable response to disturbances (Brown, 1997; McGeoch, 1998; Jones and Eggleton, 2000; McGeoch, van Rensburg and Botes, 2002). In addition, the fact that they are relatively easy to be seen, identified and manipulated under field conditions, to be evaluated by farmers, is another valid aspect in their selection as bioindicators (Zerbino, 2005).

As biological indicator of the soil conservation/disturbance status, the edaphic macrofauna should be related to its physical and chemical attributes, which in turn reflect the productivity of the ecosystem. Among this type of organisms are earthworms, which, as they have a soft body and limited motility, are affected by such factors as climate, feed, humidity, soil texture and chemical conditions; for which they show changes of composition and abundance in a short time scale (Chocobar, 2010). Earthworms tend to prevail in humid edaphic non-compacted environments, with high organic matter content.

Epigeal organisms with detritivorous function, mainly represented by diplopods (millipedes), isopods (woodlice), some coleopterans (beetles) and gastropods (snails), may also be used to indicate the disturbance status in the edaphic environment. They live and feed on the soil surface, with which they help in litter fractioning and, thus, in the processes of organic matter decomposition and mineralization. This detritivorous community, one of the most exposed on such surface, is very sensitive to sudden changes of humidity and temperature, for which they tend to disappear under these stress

con lo que ayudan en el fraccionamiento de la hojarasca y, por ende, en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica. Esta comunidad detritívora, una de las más expuestas en dicha superficie, es muy sensible a los cambios bruscos de humedad y temperatura, por lo que tienden a desaparecer ante estas condiciones de estrés. Tal situación puede estar ocasionada por la menor cobertura vegetal y entrada de residuos, así como por la mayor exposición a la radiación solar (Zerbino, Altier, Morón y Rodríguez, 2008). Principalmente la humedad puede influir en funciones vitales de estos organismos, tales como el intercambio gaseoso, la reproducción y la alimentación. Los artrópodos epígeos con función detritívora son más abundantes y diversos en ambientes con una incorporación continua y variada de hojarasca, bajas temperaturas y alta humedad en el suelo.

Uso de la macrofauna como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo a escala mundial

En los últimos años, el estudio de las comunidades de macroinvertebrados del suelo ha comprendido su relación con los procesos físicos, químicos y biológicos de este. Otras investigaciones más recientes han abordado la respuesta de la macrofauna edáfica ante diferentes usos de la tierra, en un gradiente de suelos desde ecosistemas naturales hasta agroecosistemas, con el propósito de generar índices de salud edáfica y manejar algunas poblaciones de invertebrados, como alternativas para el avance de sistemas productivos sostenibles, que a su vez preserven la biodiversidad del suelo.

A pesar de la intención de estos estudios en la búsqueda de indicadores específicos, a nivel internacional –hasta el momento–, el tratamiento de la macrofauna para indicar el funcionamiento del medio edáfico y del ecosistema se ha realizado a partir de las propias características de estas comunidades. El comportamiento de su riqueza taxonómica, diversidad, densidad, biomasa y composición funcional se ha usado directamente en la

conditions. Such situation may be caused by the lower plant cover and entrance of residues, as well as the higher exposition to solar radiation (Zerbino, Altier, Morón and Rodríguez, 2008). Mainly humidity may influence vital functions of these organisms, such as gaseous exchange, reproduction and feeding. Epigeal arthropods with detritivorous function are more abundant and diverse in environments with a continuous and varied incorporation of litter, low temperatures and high soil moisture.

Use of macrofauna as biological indicator of the soil conservation/disturbance status worldwide

In recent years, the study of soil macroinvertebrate communities has comprised their relation to the soil physical, chemical and biological processes. Other more recent studies have approached the response of edaphic macrofauna to different land uses, in a soil gradient from natural ecosystems to agroecosystems, in order to generate indexes of edaphic health and manage some invertebrate populations, as alternatives for the advance of sustainable productive systems, which in turn preserve soil biodiversity.

In spite of the intention of these studies in the search for specific indicators, at international level –until now–, the treatment of macrofauna to indicate the functioning of the edaphic environment and the ecosystem has been conducted from the characteristics of these communities. The performance of their taxonomic richness, diversity, density, biomass and functional composition has been directly used in the evaluation of different soil uses and managements (Villalobos *et al.*, 2000; Marín, Feijoo and Peña, 2001; Pashanasi, 2001; Tapia-Coral, 2004; Tsukamoto and Sabang, 2005; Zerbino, 2005; Ruiz, 2007; Zerbino *et al.*, 2008; Huerta-Lwanga *et al.*, 2008). Only Velásquez (2004) has designed an indicator of soil quality, from the relationship between abundance and macrofauna and of different soil chemical, physical and micromorphological variables.

evaluación de diferentes usos y manejos de los suelos (Villalobos *et al.*, 2000; Marín, Feijoo y Peña, 2001; Pashanasi, 2001; Tapia-Coral, 2004; Tsukamoto y Sabang, 2005; Zerbino, 2005; Ruiz, 2007; Zerbino *et al.*, 2008; Huerta-Lwanga *et al.*, 2008). Solamente Velásquez (2004) ha diseñado un indicador de la calidad del suelo, a partir de la relación entre la abundancia y diversidad de la macrofauna y de diferentes variables químicas, físicas y micromorfológicas del suelo.

La eficacia de las lombrices de tierra como bioindicadores del grado de perturbación del suelo, debido a la intensidad del uso de la tierra, ha sido comprobada por diferentes autores (Lavelle *et al.*, 1994; González, Zou y Borges, 1996; Rodríguez, 2000; Feijoo, Zúñiga, Quintero y Lavelle, 2007), los cuales detectaron la afectación de las poblaciones de lombrices en un gradiente desde sabanas y pastizales de los trópicos húmedos, seguidos de bosques primarios, plantaciones de árboles y tierras en descanso, hasta sistemas con alto grado de intervención agrícola, donde estas poblaciones estuvieron desfavorecidas. Específicamente Rodríguez (2000) apuntó que la destrucción/fragmentación de los hábitats naturales y, como consecuencia, el deterioro del contenido de materia orgánica del suelo debido a la pérdida o transformación de la vegetación original, determinan la disminución de la riqueza y la abundancia de las lombrices de tierra.

Por el contrario, otros grupos –como las termitas– adquieren importancia en zonas de cultivos, donde su invasión y agresividad han estado relacionadas con condiciones adversas de temperatura y humedad, así como con el contenido y la calidad del material orgánico en el suelo. En función de ello, Barros, Pashanasi, Constantino y Lavelle (2002) y Lavelle *et al.* (2003) sugirieron el empleo del índice de la densidad lombrices/termitas, en el cual la dominancia de las lombrices se corresponde con los hábitats conservados, y la prevalencia de termitas –como organismos oportunistas y más resistentes a perturbaciones inducidas– indica hábitats menos conservados o con algún nivel de degradación. Aunque este índice define a las termitas como

The efficacy of earthworms as bioindicators of the soil disturbance degree, due to the intensity of land use, has been tested by different authors (Lavelle *et al.*, 1994; González, Zou and Borges, 1996; Rodríguez, 2000; Feijoo, Zúñiga, Quintero and Lavelle, 2007), which detected the affectation of earthworms populations in a gradient from savannas and pasturelands of humid tropics, followed by primary forests, tree plantations and fallow lands, to systems with high degree of agricultural intervention, where these populations were disfavored. Specifically, Rodríguez (2000) stated that the destruction/fragmentation of natural habitats and, as consequence, the deterioration of the organic matter content of the soil due to the loss or transformation of the original vegetation, determine the decrease of earthworm richness and abundance.

On the contrary, other groups –such as termites– acquire importance in crop zones, where their invasion and aggressiveness have been related to adverse temperature and humidity conditions, as well as to the content and quality of the organic material in the soil. Regarding this, Barros, Pashanasi, Constantino and Lavelle (2002) and Lavelle *et al.* (2003) have suggested the use of the earthworms/termites density index, in which the dominance of earthworms is in correspondence with preserved habitats, and the prevalence of termites – as opportunistic organisms, more resistant to induced disturbances– indicates less preserved habitats or with some degradation level. Although this index defines termites as an opportunistic and fast-colonizing group, several authors state the changes suffered by their communities; primarily the humus-eating species that inhabit the soil, from habitat fragmentation, isolation and degradation (Bandeira and Vasconcelos, 2002; Bandeira, Vasconcelos, Silva and Constantino, 2003); while others mention them as the first colonizers in deforested environments, with enough remnant ligneous material, in whose decomposition they intervene (Cunha, 2006). In general, the earthworms/termites diversity index has had little application, worldwide, in macrofauna studies with such approach.

grupo oportunista y de rápida colonización, diversos autores plantean los cambios que sufren sus comunidades; primariamente las especies húmicas que habitan en el suelo, a partir de la fragmentación, aislamiento y degradación de los hábitats (Bandeira y Vasconcelos, 2002; Bandeira, Vasconcelos, Silva y Constantino, 2003); mientras que otros las señalan como las primeras colonizadoras en ambientes deforestados, con suficiente material leñoso remanente, en cuya descomposición intervienen (Cunha, 2006). En general, el índice de la densidad lombrices/termitas ha tenido poca aplicación, a nivel internacional, en investigaciones de la macrofauna con tal enfoque.

Estudios sobre la macrofauna del suelo y su potencial como indicador biológico, en Cuba

Entre los primeros estudios de la macrofauna edáfica en Cuba, se pueden señalar los realizados en los ecosistemas boscosos de la Sierra del Rosario (González y Herrera, 1983; López, González y Herrera, 1986; González y López, 1987; Prieto y Rodríguez, 1996), que mostraron resultados con una alta riqueza de órdenes de la macrofauna, con predominio de *Hymenoptera* (*Formicidae*), *Coleoptera* y *Haplotaxida*. Más adelante, la mayoría de los estudios ecológicos abordaron grupos específicos de la macrofauna, principalmente las lombrices de tierra y los diplópodos, y el efecto de los ecosistemas naturales y/o perturbados sobre estas comunidades (Martínez y Rodríguez, 1991; Rodríguez, 2000; Martínez y Sánchez, 2000; Rodríguez y Martínez, 2001; Fernández-Valle, 2001; Martínez, 2002; Prieto *et al.*, 2003). Los trabajos evidenciaron que la diversidad y la abundancia de estos grupos fueron sustancialmente mayores en los ecosistemas con menores niveles de antropización.

En el país, también un grupo de trabajos han caracterizado la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra, y han evaluado el tipo de uso o formación vegetal y el manejo de los suelos y los cultivos. De esta manera, Sánchez, Milera, Suárez y Alonso (1997); Rodríguez y Crespo (1999); Sánchez, (2001);

Studies on the soil macrofauna and its potential as biological indicator, in Cuba

Among the first studies about the edaphic macrofauna in Cuba, the ones conducted in the forest ecosystems of Sierra del Rosario may be mentioned (González and Herrera, 1983; López, González and Herrera, 1986; González and López, 1987; Prieto and Rodríguez, 1996), which showed results with high richness of macrofauna orders, with predominance of *Hymenoptera* (*Formicidae*), *Coleoptera* and *Haplotaxida*. Afterwards, most ecological studies approached specific groups of the macrofauna, mainly earthworms and diplopods, and the effect of natural and/or disturbed ecosystems on these communities (Martínez and Rodríguez, 1991; Rodríguez, 2000; Martínez and Sánchez, 2000; Rodríguez and Martínez, 2001; Fernández-Valle, 2001; Martínez, 2002; Prieto *et al.*, 2003). The works showed that the diversity and abundance of these groups were substantially higher in the ecosystems with lower anthropization levels.

In the country, a group of works have also characterized the soil macrofauna in different land use systems, and have evaluated the type of use or plant formation and soil and crop management. Thus, Sánchez, Milera, Suárez and Alonso (1997); Rodríguez and Crespo (1999); Sánchez (2001); Rodríguez *et al.* (2002a); Rodríguez Rodríguez, Torres, Crespo and Fraga (2002b); Sánchez and Milera (2002); Sánchez, Hernández and Simón (2003); Sánchez and Reyes (2003); Sánchez and Crespo (2004); Lok (2005); Hernández and Sánchez (2006); Rodríguez *et al.* (2008a); Rodríguez *et al.* (2008b) and Sánchez *et al.* (2008) described the studies in pasturelands and silvopastoral systems with the association of tree legumes under different managements, of which only some are cited below.

Rodríguez *et al.* (2002a) compared a natural pasture system with another system of natural pasture plus 100% of leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), and found higher macrofauna density and biomass in most of the years of the study, in the second system. The results confirmed the favorable influence of

Rodríguez *et al.* (2002a); Rodríguez, Torres, Crespo y Fraga (2002b); Sánchez y Milera (2002); Sánchez, Hernández y Simón (2003); Sánchez y Reyes (2003); Sánchez y Crespo (2004); Lok (2005); Hernández y Sánchez (2006); Rodríguez *et al.* (2008a); Rodríguez *et al.* (2008b) y Sánchez *et al.* (2008) describieron los estudios en sistemas de pastizales y en sistemas silvopastoriles con la asociación de leguminosas arbóreas bajo diferentes manejos, de los cuales solo algunos se citan a continuación.

Rodríguez *et al.* (2002a) compararon un sistema de pasto natural con otro de pasto natural más 100% de leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), y encontraron mayor densidad y biomasa de la macrofauna en la mayoría de los años del estudio, en el segundo sistema. Los resultados confirmaron la influencia favorable de la leucaena como especie arbórea en el pastizal, al proporcionar hojarasca de mejor calidad y un microambiente más idóneo para la actividad de la macrofauna en el suelo.

Asimismo Sánchez y Reyes (2003), al estudiar la morera (*Morus alba* L.) en monocultivo y asociada con diferentes leguminosas arbóreas (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. y *Albizia lebeck* (L.) Benth.), observaron una respuesta positiva en la colonización de los organismos en el suelo, sobre todo con la presencia de los árboles leguminosos. En estos últimos sistemas se obtuvieron densidades de más de 30 ind.m⁻² para las lombrices de tierra, las cochinillas y los escarabajos, y de más de 100 ind.m⁻² para los caracoles, valores superiores a los alcanzados en el monocultivo de la morera.

Lok (2005), en su investigación sobre la selección de indicadores de estabilidad del sistema suelo-pasto en pastizales monocultivados con guinea (*Panicum maximum* Jacq.), en silvopastoreo con leucaena, y en una mezcla múltiple de leguminosas rastreras (*Neonotonia wightii* (Arn.) Lackey, *Pueraria thumbergiana* (Siebold & Zucc.) Benth. y *Macroptilium atropurpureum* (Moc. & Sessé ex DC). Urb.), concluyó que los indicadores edáficos, entre ellos la densidad y la biomasa de la macrofauna del

leucaena as tree species in the pasture, by providing better-quality litter and a more ideal micro-environment for the macrofauna activity in the soil.

Likewise, Sánchez and Reyes (2003), when studying mulberry (*Morus alba* L.) in monocrop and associated to different tree legumes (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. and *Albizia lebeck* (L.) Benth.), observed a positive response in the colonization of soil organisms, especially with the presence of leguminous trees. In these last systems densities were obtained higher than 30 ind.m⁻² for earthworms, woodlice and beetles, and higher than 100 ind.m⁻² for snails, higher values than the ones reached in the mulberry monocrop.

Lok (2005), in his research about the selection of stability indicators of the soil-pasture system in pasturelands with monocrop of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.), in silvopastoral system with leucaena, and a multiple mixture of creeping legumes (*Neonotonia wightii* (Arn.) Lackey, *Pueraria thumbergiana* (Siebold & Zucc.) Benth. and *Macroptilium atropurpureum* (Moc. & Sessé ex DC). Urb.), concluded that the edaphic indicators, including density and biomass of the soil macrofauna – and mainly of earthworms-, had a favorable progress only in the pasturelands with silvopastoral system and with creeping legumes; while in the pastureland with Guinea grass monocrop, a trend occurred, in time, to the decrease of biological activity in the soil.

In other works conducted in seven silvopastoral systems with different soils and managements in the western region, an increase of edaphic organisms was initially observed in grayish brown soils, due to their characteristics of water retention, to which the introduction of trees also contributed (Sánchez *et al.*, 2008).

All the commented results indicate that productive systems with tree elements show group richness and abundance of macrofauna comparable with those of natural ecosystems, such as forests, because of the higher availability of resources for the refuge and feeding of the edaphic fauna.

suelo –y principalmente de las lombrices de tierra–, tuvieron un progreso favorable solo en los pastizales con silvopastoreo y con leguminosas rastreras; mientras que en el pastizal con monocultivo de guinea se produjo, con el tiempo, una tendencia a la disminución de la actividad biológica del suelo.

En otros trabajos realizados en siete sistemas silvopastoriles con diferentes suelos y manejos en la región occidental, se observó, inicialmente, un incremento de los organismos edáficos en los suelos Pardos grisáceos, debido a sus características de retención de humedad, a lo que contribuyó también la introducción de plantas arbóreas (Sánchez *et al.*, 2008).

Todos los resultados que se comentaron indican que los sistemas productivos con elementos arbóreos presentan una riqueza de grupos y una abundancia de la macrofauna comparables con las de ecosistemas naturales, como los bosques, debido a la mayor disponibilidad de recursos para el refugio y la alimentación de la edafofauna.

En los ecosistemas de pastizales se condujeron, conjuntamente, investigaciones sobre la influencia de la macrofauna edáfica en la descomposición de las bostas y de la hojarasca, las cuales demostraron su intervención en el reciclaje de nutrientes (Soca, Simón, Sánchez y Gómez, 2002; Rodríguez *et al.*, 2003; Sánchez, 2007; Sánchez *et al.*, 2008). Soca *et al.* (2002), en un sistema silvopastoril y otro de pastos solamente, observaron una rápida descomposición de las bostas de bovinos en el primero, en comparación con el sistema sin árboles, debido a la incidencia de una alta densidad de la macrofauna –en especial de coleópteros. Rodríguez *et al.* (2003), al estudiar la descomposición de las bostas en un pastizal sometido a pastoreo rotacional en un cuartón de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst), no encontraron diferencias significativas en la densidad y la biomasa de la macrofauna entre los diferentes momentos estudiados, durante el proceso de descomposición. Los taxones de la macrofauna observados en la intervención de este proceso fueron pocos, entre ellos: *Blattodea*, *Coleoptera*, *Hymenoptera*, *Dermaptera*, *Haplotaxida*, *Isopoda*, *Diplopoda* y *Chilopoda*.

In pastureland ecosystems, studies have been jointly conducted about the influence of the edaphic macrofauna on dung and litter decomposition, which have shown its intervention in nutrient recycling (Soca, Simón, Sánchez and Gómez, 2002; Rodríguez *et al.*, 2003; Sánchez, 2007; Sánchez *et al.*, 2008). Soca *et al.* (2002), in a silvopastoral system and another system of pastures only, observed a fast decomposition of cattle dung in the former, as compared to the system without trees, due to the incidence of high macrofauna density –especially of coleopterans. Rodríguez *et al.* (2003), when studying dung decomposition in a pastureland subject to rotational grazing in a paddock of *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst), did not find significant differences in the macrofauna density and biomass among the different studied moments, during the decomposition process. The macrofauna taxa observed in this process were few, among them: *Blattodea*, *Coleoptera*, *Hymenoptera*, *Dermaptera*, *Haplotaxida*, *Isopoda*, *Diplopoda* and *Chilopoda*.

On the other hand, Sánchez (2007) as well as Sánchez *et al.* (2008), in trials of litter decomposition by the soil macrofauna in environments with Guinea grass and leucaena plus Guinea grass, determined, for the first system: three phyla, five classes, eight orders, seven genera and seven species, constituted by 77% detritivores and 11,11% herbivores and predators; and for the second system they found: three phyla, five classes, nine orders, seven genera and seven species of the macrofauna, formed by 56% detritivorous organisms, 35% herbivores and 9% predators, which showed similar results in both pasturelands regarding the organisms. Nevertheless, differences were established in decomposition rate, which was more intense in the silvopastoral system of leucaena plus Guinea grass, to benefit leucaena through the fixed nitrogen, litter contribution and quality, and the more favorable edaphoclimatic conditions for the action of decomposing organisms.

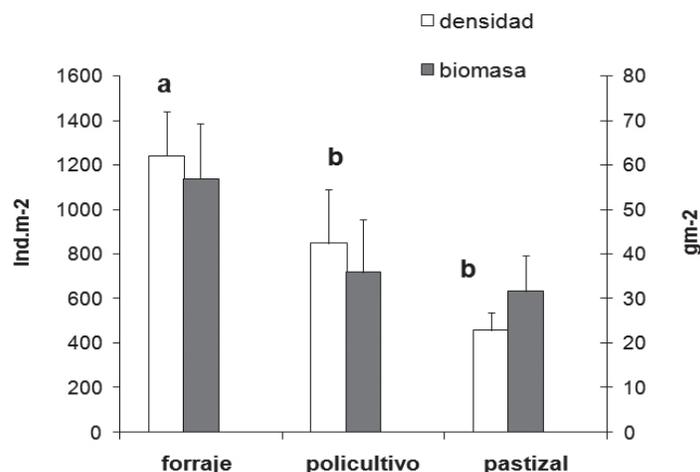
The most recent studies conducted in the country also included the characterization of the soil macrofauna in agricultural-livestock

Por otra parte, tanto Sánchez (2007) como Sánchez *et al.* (2008), en experimentos de descomposición de la hojarasca por la macrofauna del suelo en ambientes con guinea y con leucaena más guinea, determinaron, para el primer sistema: tres phyla, cinco clases, ocho órdenes, siete géneros y siete especies, constituidos por 77% de detritívoros y 11,11% de herbívoros y de depredadores; y para el segundo sistema hallaron: tres phyla, cinco clases, nueve órdenes, siete géneros y siete especies de la macrofauna, formados por 56% de organismos detritívoros, 35% de herbívoros y 9% de depredadores, lo que mostró resultados similares en ambos pastizales en cuanto a los organismos. No obstante, se establecieron diferencias en la velocidad de descomposición, la cual fue más intensa en el sistema silvopastoril de leucaena más guinea, por el beneficio de la leucaena a través del nitrógeno fijado, el aporte y la calidad de la hojarasca, y las condiciones edafoclimáticas más favorables para la acción de los organismos descomponedores.

Los últimos estudios realizados en el país también incluyeron la caracterización de la macrofauna del suelo en sistemas agroganaderos, ubicados en la actual provincia de Artemisa, los

production systems, located in the current Artemisa province, which are managed through agroecological methods (Cabrera, Martínez and Rodríguez, 2007). The characteristics of the invertebrate communities established in each area, such as the highest values of taxonomic richness, density and biomass in the polycrop and forage areas with regards to the pastureland (fig. 1), and also the highest indexes of diversity and equity obtained for most fauna groups in the polycrop (table 1), were elements that support the beneficial effect of the agroecological management applied in these systems, which consisted in crop rotation, incorporation of organic manures and planting of perennial plants.

Later, Serrano (2010) related the composition and structure of the edaphic macroinvertebrate community with the plant formations forest and seagrass stand, on the northern coast of the current Mayabeque province. The study reflected that the macrofauna variations regarding composition and abundance, at the taxonomic level of order, were not determined for the plant formation; although the high quantitative similarity between these communities



Medias con letras iguales no difieren para $p < 0,05$, según SNK

Fig. 1. Valores promedio de densidad (ind.m^{-2}) y biomasa (gm^{-2}) de la macrofauna en las áreas de estudio de Cangrejas, Artemisa, Cuba (Cabrera-Dávila *et al.*, 2007).

Fig. 1. Average density (ind.m^{-2}) and biomass (gm^{-2}) values of the macrofauna in the study areas of Cangrejas, Artemisa, Cuba (Cabrera-Dávila *et al.*, 2007).

cuales son manejados mediante métodos agroecológicos (Cabrera, Martínez y Rodríguez, 2007). Las características de las comunidades de invertebrados establecidas en cada área, tales como los valores superiores de riqueza taxonómica, de densidad y de biomasa en las áreas policultivadas y de forraje respecto al pastizal (fig. 1), y además los mayores índices de diversidad y equitatividad obtenidos para la mayoría de los grupos faunísticos en el policultivo (tabla 1), fueron elementos que avalan el efecto beneficioso del manejo agroecológico aplicado en estos sistemas, el cual consistió en la rotación de cultivos, la incorporación de abonos orgánicos y la siembra de plantas perennes.

Con posterioridad, Serrano (2010) relacionó la composición y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados edáficos con las formaciones vegetales de bosque y uveral, en el litoral norte de la actual provincia de Mayabeque. El estudio mostró que las variaciones de la macrofauna en cuanto a composición y abundancia, al nivel taxonómico de orden, no estuvieron determinadas por la formación vegetal; aunque la alta similitud cuantitativa entre estas comunidades indicó el semejante nivel de disturbio en los sitios estudiados.

Recientemente, Cabrera *et al.* (2011a, 2011b) extendieron su investigación a cuatro usos de la tierra en la Llanura Roja de Artemisa y Mayabeque, y su efecto sobre la riqueza, abundancia y composición funcional de la macrofauna del suelo. Estos autores obtuvieron que el uso de los bosques secundarios estuvo mejor represen-

indicado the similar level of disturbance in the studied sites.

Recently, Cabrera *et al.* (2011a, 2011b) extended their research to four land uses in the Red Plain of Artemisa and Mayabeque, and their effect on the richness, abundance and functional composition of the soil macrofauna. These authors obtained that the use secondary forests was better represented in the macrofauna taxonomic richness, density and biomass, with regards to the other uses: pasturelands, varied crops and sugarcane plantations. In addition, in secondary forests they found higher representation in density and biomass of the detritivore functional group, and also in the biomass of soil engineers due to the influence of earthworms. This last group of soil engineers prevailed regarding density in pasturelands, varied crops and sugarcane plantations, whose values were caused by the high abundance of ants in these systems with higher anthropization level (fig. 2). The results indicated the disturbance level of the edaphic medium, due to the intensity of land use.

Conclusions

The results obtained in the evaluation of the edaphic macrofauna, in ecosystems with different conservation/disturbance degree in Cuba, allow proposing as indicator of the evaluation of the soil status the performance of earthworm populations, through their species richness, their density (ind.m⁻²) and biomass (gm⁻²); as well as the proportion shown by the epigeal community with detritivorous function, in density as well as

Tabla 1. Riqueza de géneros, diversidad (H') y equitatividad (J') de los grupos mejor representados de la macrofauna en las áreas de estudio de Cangrejeras, Artemisa, Cuba.

Table 1. Genera richness, diversity (H') and equity (J') of the best represented macrofauna groups in the study areas of Cangrejeras, Artemisa, Cuba .

Grupo	Pastizal			Forraje			Policultivo		
	Riqueza	H'	J'	Riqueza	H'	J'	Riqueza	H'	J'
<i>Oligochaeta</i>	3	0,68	0,49	2	0,68	0,67	2	0,66	0,65
<i>Gastropoda</i>	4	1,27	0,64	5	1,57	0,67	5	1,40	0,64
<i>Diplopoda</i>	2	0,24	0,21	4	1,05	0,60	4	1,45	0,72
<i>Isopoda</i>	4	1,30	0,65	4	1,40	0,68	4	1,42	0,69
<i>Hymenoptera</i>	1	0	0	3	0,22	0,16	7	1,63	0,58
<i>Coleoptera</i>	5	1,44	0,63	4	1,30	0,64	7	2,20	0,75

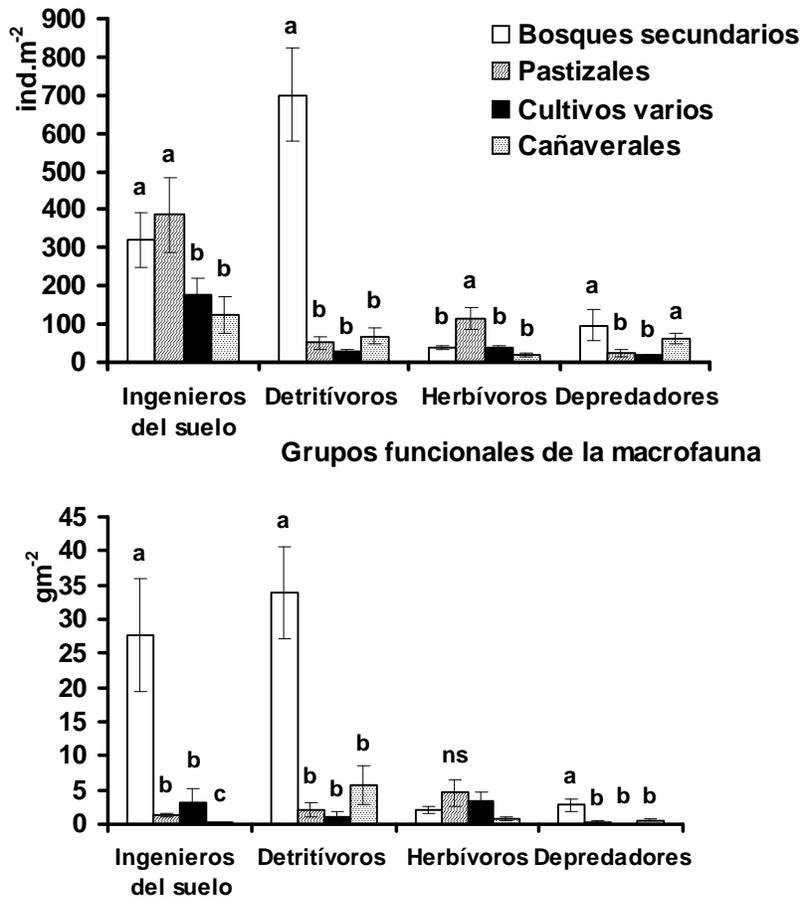
Fuente: Cabrera *et al.*, 2007

tado en la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la macrofauna, con relación a los restantes usos de los pastizales, los cultivos varios y los cañaverales. Además, en los bosques secundarios encontraron mayor representación en la densidad y la biomasa del grupo funcional de los detritívoros, y también en la biomasa de los ingenieros del suelo por la influencia de las lombrices de tierra. Este último grupo de ingenieros del suelo prevaleció en cuanto a la densidad en los pastizales, los cultivos varios y los cañaverales, cuyos valores estuvieron origi-

in in biomass, with regards to the other functional groups of the macrofauna.

They also allow identifying ants as indicators of disturbance in the edaphic medium, due to their ability to survive mainly on agricultural soils, in spite of the disturbances of such environment, which was shown by their prevalence in abundance and resistance in systems which had some level of anthropic intervention.

It is valid to mention that efforts have been made to define limit values, intervals and universal variation percentages referred only to



Medias con letras distintas, entre columnas para un mismo grupo funcional, indican diferencias significativas a $p < 0,05$. Las barras verticales indican el error estándar.

Fig. 2. Densidad y biomasa promedio de los grupos funcionales de la macrofauna del suelo en los usos de la tierra estudiados en Mayabeque y Artemisa, Cuba (Cabrera *et al.*, 2011a).

Fig. 2. Average density and biomass of the functional groups of the soil macrofauna in the land uses studied in Mayabeque and Artemisa, Cuba (Cabrera *et al.*, 2011a).

nados por la alta abundancia de las hormigas en estos sistemas con mayor nivel de antropización (fig. 2). Los resultados indicaron el nivel de perturbación del medio edáfico, debido a la intensidad de uso de la tierra.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la evaluación de la macrofauna edáfica, en ecosistemas con diferente grado de conservación/perturbación en Cuba, permiten proponer como indicador de la valoración del estado del suelo el comportamiento de las poblaciones de lombrices de tierra, a través de su riqueza de especies, su densidad (ind.m^{-2}) y su biomasa (gm^{-2}); así como la proporción que presenta la comunidad epígea con función detritívora, tanto en la densidad como en la biomasa, con respecto a los restantes grupos funcionales de la macrofauna.

También permiten identificar a las hormigas como indicadores de perturbación del medio edáfico, debido a su habilidad para sobrevivir mayormente en suelos agrícolas, a pesar de los disturbios de dicho medio, lo que se evidenció por su prevalencia en abundancia y resistencia en sistemas que tenían algún nivel de intervención antrópica.

Es válido mencionar que se han realizado esfuerzos para definir valores límites, intervalos y porcentajes de variación universales referidos solo a indicadores biológicos que representen las condiciones óptimas de un suelo, pero ha resultado muy difícil debido a la gran variabilidad espacio-temporal de estos indicadores.

Estos resultados que se han obtenido en el país hasta la actualidad no son suficientes, por lo que las futuras investigaciones deberán considerar un nivel taxonómico más bajo en la identificación de la macrofauna, y relacionar su composición taxonómica y funcional con factores climáticos y pedológicos; todo ello con la finalidad de identificar índices, o específicamente taxones de la macrofauna, como indicadores del estado de salud y funcionalidad del suelo, y que tales índices puedan ser generalizados y aplicados en una amplia gama de tipos de suelo y usos de la tierra.

biological indicators which represent the optimum conditions of a soil, but it has turned out to be difficult due to the large space-time variability of these indicators.

These results that have been obtained in the country until nowadays are not enough, for which the future studies should consider a lower taxonomic level in the identification of macrofauna, and relate its taxonomic and functional composition to climate and pedological factors; all this in order to identify indexes, or specifically taxa of the macrofauna, as indicators of the soil health and functionality status, and that such indexes may be generalized and applied in a wide range of soil types and land uses.

--End of the English version--

Referencias bibliográficas

- Bandeira, A.G. & Vasconcelos, A. 2002. A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in northeastern Brazil (*Isoptera*). *Sociobiology*. 39:429
- Bandeira, A.G.; Vasconcelos, A.; Silva, M.P. & Constantino, R. 2003. Effects of habitat disturbance on the termite fauna in a Highland Humid Forest in the Caatinga Domain, Brazil. *Sociobiology*. 42:117
- Barros, E.; Pashanasi, B.; Constantino, R. & Lavelle, P. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*. 35:338
- Brown Jr., K.S. 1997. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*. 1:25
- Cabrera, G.; Martínez, M.A & Rodríguez, C. 2007. La macrofauna del suelo en sistemas agroecológicos en Cuba. *Brenesia*. 67:45
- Cabrera, G.; Robaina, N. & Ponce de León, D. 2011a. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34:331
- Cabrera, G.; Robaina, N. & Ponce de León, D. 2011b. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34:313
- Chocobar, E.A. 2010. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido

- a diferentes sistemas de manejo en un experimento de larga duración. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Edo. de México. 63 p.
- Cunha, H. da 2006. Cupins (*Isoptera*) bioindicadores para conservação do Cerrado em Goiás. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad Federal de Goiás, Brasil. 79 p.
- Feijoo, A.; Zúñiga, M.; Quintero, H. & 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*. 30:235
- Fernández-Valle, R. 2001. Lombrices de tierra (*Annelida: Oligochaeta*) de un bosque secundario: Composición taxonómica y evaluación ecológica. Trabajo de Diploma. Facultad de Biología, Universidad de La Habana. 48 p.
- González, R. & Herrera, A. 1983. La macrofauna del suelo del bosque siempreverde estacional de la Sierra del Rosario (resultados preliminares). *Reporte de Investigación, Instituto de Zoología*. 10:1
- González, R. & López, R. 1987. La macrofauna de la hojarasca y del suelo de algunos ecosistemas forestales de Cuba. *Reporte de Investigación, Instituto de Zoología*. 46:1
- González, G.; Zou, X. & Borges, S. 1996. Earthworm abundance and species composition in abandoned tropical croplands: comparisons of tree plantation and secondary forests. *Pedobiología*. 40:385.
- Hernández, M. & Sánchez, S. 2006. Evolución de la composición química y la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible. Centro de Convenciones "Plaza América", Varadero, Cuba. P. 107.
- Huerta-Lwanga, E.; Rodríguez, J.; Evia-Castillo, I.; Montejo-Meneses, E.; Cruz-Mondragón, M. de la & García-Hernández, R. 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*. 26: 71
- Jones, D.T. & Eggleton, P. 2000. Sampling termite assemblages in tropical forests: testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of Applied Ecology*. 37:191
- Lavelle, P.; Dangerfield, M.; Fragoso, C.; Eschenbrenner, V.; López- Hernández, D.; Pashanasi, B. & Brussaard, L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: *The Biological management of tropical soil fertility* (Eds. P.L. Woomer & M. J. Swift). New York. p. 137
- Lavelle, P.; Senapati, B. & Barros, E. 2003. Soil macrofauna. In: *Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods*. (Eds. G. Schroth & F.L. Sinclair). CABF Publishing, UK. p. 303
- López, R.; González, R. & Herrera, A. 1986. La macrofauna del suelo en *Pinus tropicalis* Morelet. *Reporte de Investigación, Instituto de Zoología*. 28:1
- Lok, S. 2005. Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción de ganado vacuno. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal, La Habana. 98 p.
- Marín, E.P.; Feijoo, A. & Peña, J. de J. 2001. Cuantificación de la macrofauna en un vertisol bajo diferentes sistemas de manejo en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista Suelos Ecuatoriales*. 31:233
- Martínez, M.A. 2002. Comunidades de oligoquetos (*Annelida: Oligochaeta*) en tres ecosistemas con diferente grado de perturbación en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología y Sistemática/Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Ciudad de La Habana. 93 p.
- Martínez, M.A. & Rodríguez, M. 1991. Evaluación ecológica preliminar de las poblaciones de oligoquetos (*Annelida: Oligochaeta*) en dos ecosistemas de Sierra del Rosario, Cuba. *Rev. Biología*. 5:9
- Martínez, M.A. & Sánchez, J.A. 2000. Comunidades de lombrices de tierra (*Annelida: Oligochaeta*) en un bosque siempre verde y un pastizal de Sierra del Rosario, Cuba. *Caribbean Journal of Science*. 36:94
- MacGeoch, M.A. 1998. The selection testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biol. Rev.* 73:181
- McGeoch, M.A.; Rensburg, B.J. van & Botes, A. 2002. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *Journal of Applied Ecology*. 39:661
- Pashanasi, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazonica*. 12:75
- Prieto, D.; Reines, M.; Díaz, M.; González, V.; Tcherva, T. & Rodríguez, C. 2003. Caracterización de la biodiversidad de la fauna edáfica cubana. Informe

- final de proyecto. Programa ramal "Sistemática y colecciones biológicas". Facultad de Biología, Universidad de La Habana.
- Prieto, D. & Rodríguez, C. 1996. Índices de agregación de los invertebrados de la hojarasca en un bosque siempre-verde de la Reserva de la Biosfera de la Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. Análisis comparativo. *Rev. Biología*. 10:27
- Rodríguez, C. 2000. Comunidades de lombrices de tierra en ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Rev. Biología*. 14:147
- Rodríguez, C. & Martínez, M.A. 2001. Comunidades de lombrices de tierra (*Annelida: Oligochaeta*) del desagüe de una vaquería en áreas de pastizales en Cuba. *Rev. Biología*. 15:37
- Rodríguez, I. & Crespo, G. 1999. Comportamiento de la macrofauna del suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 33:437
- Rodríguez, I.; Crespo, G.; Fraga, S.; Rodríguez, C. & Prieto, D. 2003. Actividad de la mesofauna y la macrofauna en las bostas durante su proceso de descomposición. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 37:319
- Rodríguez, I.; Crespo, G.; Rodríguez, C.; Castillo, E. & Fraga, S. 2002a. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas con leucaena para la ceba de toros. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 36:181
- Rodríguez, I.; Crespo, G.; Torres, V.; Calero, B.; Morales, A.; Otero, L.; Hernández, L.; Fraga, S. & Santillán, B. 2008b. Evaluación integral del complejo suelo-planta en una unidad lechera, con silvopastoreo, en la provincia La Habana, Cuba. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 42:403
- Rodríguez, I.; Crespo, G.; Torres, V.; Fraga, S.; Socarrás, A.; Rodríguez, M.; Sánchez, S.; Hernández, M. & Milera, M. 2008a. La biota del suelo y su papel en la sostenibilidad de los sistemas. Parte III. Reciclaje de nutrimentos y papel de la fauna asociada. En: *André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Ed. M. Milera). La Habana, Cuba. p. 281
- Rodríguez, I.; Torres, V.; Crespo, G. & Fraga, S. 2002b. Biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes pastizales. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 36:403
- Ruiz, D.H. 2007. Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso de la tierra en la parte media de la cuenca del Río Otún (Risaralda, Colombia). Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Zoología y Ecología Animal, Mención Invertebrados. Universidad de La Habana. 95 p.
- Sánchez, S. 2001. Estudio de la macrofauna edáfica en un sistema multiasociado gramínea-leguminosa posterior a un incendio. *Pastos y Forrajes*. 24:325
- Sánchez, S. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal, La Habana. 135 p.
- Sánchez, S. & Crespo, G. 2004. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas puras o intercaladas con leucaena. *Pastos y Forrajes*. 27:347
- Sánchez, S.; Hernández, M. & Simón, L. 2003. Efecto del sistema silvopastoril en la fertilidad edáfica en unidades lecheras de la Empresa Nazareno. *Pastos y Forrajes*. 26:131
- Sánchez, S. & Milera, M. 2002. Dinámica de la macrofauna edáfica en la sucesión de un sistema de manejo de gramíneas a un sistema con árboles intercalados en el pasto. *Pastos y Forrajes*. 25:189
- Sánchez, S.; Milera, M.; Hernández, M.; Crespo, G. & Simón, L. 2008. La macrofauna y su importancia en los sistemas de producción ganaderos. Parte III. Reciclaje de nutrimentos y papel de la fauna asociada. En: *André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Ed. M. Milera). La Habana, Cuba. p. 316
- Sánchez, S.; Milera, M.; Suárez, J. & Alonso, O. 1997. Evolución de la biota del suelo en un sistema de manejo rotacional racional intensivo. *Pastos y Forrajes*. 20:143
- Sánchez, S. & Reyes, F. 2003. Estudio de la macrofauna edáfica en una asociación de *Morus alba* y leguminosas arbóreas. *Pastos y Forrajes*. 26:315
- Serrano, A. 2010. Estructura y dinámica de la comunidad de macroinvertebrados edáficos en dos formaciones vegetales de Boca de Canasí, La Habana, Cuba. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Zoología y Ecología Animal, Mención Invertebrados. Universidad de La Habana. 75 p.
- Soca, M.; Simón, L.; Sánchez, S. & Gómez, E. 2002. Dinámica parasitológica en bostas de bovinos bajo condiciones silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*. 9:38
- Tapia-Coral, S.C. 2004. Macro-invertebrados do solo e estoques de carbono e nutrientes em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia Peruana. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas, Área

- Ecología. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brasil. 135 p.
- Tsukamoto, J. & Sabang, J. 2005. Soil macro-fauna in an *Acacia mangium* plantation in comparison to that in a primary mixed dipterocarp forest in the lowlands of Sarawak, Malaysia. *Pedobiología*. 49:69
- Velásquez, E. 2004. 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. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 181 p.
- Velásquez, E.; Lavelle, P.; Rendeiro, C.; Martins, M.; Barot, S. & Grimaldi, M. 2009. Cambios en las comunidades de plantas influenciados por la macroagregación del suelo a través de las actividades de la macrofauna del suelo en la Amazonía brasileira. http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadedesolo/pdf/Resumos/Painel3_Velasquez E.pdf.
- Villalobos, F.J.; Pulido, R.O.; Moreno, C.; Pavón, N.P.; Hernández Trejo, H.; Bell, J. & Montiel, S. 2000. Patrones de la macrofauna edáfica en un cultivo de *Zea mays* durante la fase postcosecha en La Mancha, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 80:167
- Zerbino, M.S. 2005. Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias. Universidad de Montevideo, Uruguay. 92 p.
- Zerbino, M.S.; Altier, N.; Morón, A. & Rodríguez, C. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia*. 12:44

Recibido el 14 de marzo del 2011

Aceptado el 20 de octubre del 2012