Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo

Soil mesofauna: biological indicator of soil quality

Ana Socarrás
Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA
Carretera de Varona km 3 ½, Capdevila, Boyeros, CP 10800, La Habana, Cuba
E-mail: anameri@ecologia.cu

RESUMEN

La búsqueda, el uso y la aplicación de los indicadores de la calidad del suelo se han intensificado en las últimas décadas, debido a la necesidad de preservar este recurso no renovable e indispensable para la vida humana, ante el deterioro creciente. La selección de los indicadores se ha dirigido, fundamentalmente, a conocer el efecto de los usos aplicados y el curso de la rehabilitación de los suelos degradados o contaminados. Los grupos que integran la mesofauna edáfica son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio, las que provocan cambios en su composición específica y su abundancia, y ocasionan la pérdida de especies y de su diversidad, con la consiguiente disminución de la estabilidad y la fertilidad del suelo. Por ello la mesofauna edáfica es considerada como un buen indicador biológico de su estado de conservación. El número, la densidad y el balance de sus grupos permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas, así como considerar integralmente el funcionamiento del ecosistema.

Palabras clave: conservación de suelos, organismos indicadores

ABSTRACT

The search, use and application of soil quality indicators have been intensified in the last decades, due to the need to preserve this non renewable resource which is essential for human life, in the face of the increasing deterioration. The selection of the indicators has been aimed, mainly, at learning the effect of the applied uses and the course of the rehabilitation of degraded or contaminated soils. The groups which integrate the soil mesofauna are sensitive to natural and anthropic disturbances of the edaphic environment, which cause changes in their specific composition and abundance, and produce loss of species and their diversity, with the subsequent decrease of soil stability and fertility. For such reason, the soil mesofauna is considered a good biological indicator of the soil conservation status. The number, density and balance of its groups allow to predict and evaluate the transformations brought about by the application of different agricultural production methods under specific soil and climate conditions, as well as to consider integrally the functioning of the ecosystem.

Key words: indicator organisms, soil conservation

INTRODUCCIÓN

La mesofauna del suelo interviene en los procesos de descomposición de la materia orgánica, de aceleración y reciclaje de los nutrientes y, en particular, en el de mineralización del fósforo y el nitrógeno (García-Álvarez y Bello, 2004). Los grupos que la integran son reguladores del proceso trófico del medio edáfico, al ayudar en la formación de su microestructura con sus aportes de deyecciones, excreciones, secreciones y con sus propios cadáveres. También facilitan la diseminación de esporas, hongos y otros microorganismos, por lo que son conocidos como catalizadores de la actividad microbiana. Además se les reconoce como microingenieros del medio edáfico, ya que construyen galerías en el suelo y mejoran las propiedades físicas de este, al favorecer la aireación y la infiltración de agua. Por ello constituyen factores decisivos para el mantenimiento de su productividad.

Muchos de los grupos que integran la mesofauna son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio, las cuales provocan cambios en su composición específica y su abundancia, y ocasionan la pérdida de especies y de su diversidad, con la consiguiente disminución de la estabilidad y la fertilidad (Scheu, 2002). Por tales motivos, es considerada como un buen indicador biológico del estado de conservación del suelo.

El número, la densidad y el balance de estos grupos permite predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas; así como considerar, integralmente, el funcionamiento del ecosistema, de forma tal que la relación suelo-planta sea el eslabón básico para el mantenimiento de los otros componentes del sistema y, a su vez, permita valorar su influencia en el mantenimiento de la fertilidad y la conservación del suelo.

El objetivo de esta reseña fue recopilar la mayor cantidad de información posible sobre la utilización de los grupos de la mesofauna edáfica como indicadores biológicos en el diagnóstico y la evaluación de las perturbaciones producidas en un determinado ecosistema, sometido a un tipo de manejo o uso.

Principales grupos de la mesofauna del suelo

La mesofauna es una categoría zoológica cuyos componentes viven toda su vida en el suelo, la cual incluye: ácaros (Acari), colémbolos (Collembola), sínfilos (Symphyla), proturos (Protura), dipluros (Diplura), paurópodos (Pauropoda), tisanópteros (Thysanoptera), socópteros (Psocoptera), enquitreidos (Enchytraeidae) y polixénidos (Polixenida) de 0,2-2,0 mm de diámetro. Muchos de estos grupos son bioindicadores de la estabilidad y la fertilidad del suelo (García-Álvarez y Bello, 2004); entre ellos se destacan los ácaros y los colémbolos, por ser los principales representantes de este tipo de fauna y por poseer mejores condiciones para ser utilizados con este fin.

Estos grupos presentan hábitos alimentarios extremadamente diversos; de ahí que, según sus principales categorías alimentarias, puedan ser: herbívoros, detritívoros, depredadores (carnívoros) y fungívoros.

Los ácaros, según Behan-Pelletier (1999), son indicadores potencialmente poderosos, tanto de la naturaleza como de la perturbación del ecosistema. Esta afirmación se basa en su abundancia, ya que alcanzan varios cientos de miles de individuos por metro cuadrado. Además presentan una gran diversidad taxonómica y trófica, y son fáciles de colectar y preservar.

Entre los ácaros están los oribátidos (Cryptostigmata), los cuales son importantes facilitadores de la descomposición de la materia orgánica en interacción con la microflora, debido a que actúan sobre los restos de los animales y las plantas, fragmentándolos y haciéndolos más asequibles a la acción de los microorganismos. Estos individuos son sensibles al contenido de materia orgánica, el porcentaje de humedad, el pH, las prácticas agrícolas realizadas por el hombre y el uso de insecticidas. Dentro de este grupo existen diferentes tipos de respuesta ante las alteraciones ambientales, debido a que sus características morfológicas pueden hacerlos más resistentes. Determinadas especies de oribátidos muestran la existencia de circunstancias adversas, tanto naturales como antrópicas; y también de condiciones favorables, como la existencia de bosques bien conservados. No obstante, aún falta por investigar sobre su ecología, biología y fisiología, para considerarlos un grupo con grandes usos como bioindicadores (González, 2001).

Asimismo, los uropodinos (Uropodidae) conforman un grupo de ácaros saprófagos, pero abundan poco en el suelo ya que presentan características morfológicas y bioecológicas que los hacen muy exigentes en cuanto a la calidad del hábitat. Son abundantes en los ecosistemas con un alto valor de materia orgánica, en áreas de compostaje y en los troncos en descomposición (García-Álvarez y Bello, 2004). También son humícolas y responden de forma positiva ante las buenas condiciones de aireación del suelo. Junto a los oribátidos, se reportan como indicadores de suelos con alta productividad. El estudio de sus variaciones constituye un criterio preciso del estado de salud del medio edáfico.

Dentro de los ácaros también se encuentran los astigmados (Astigmata), los cuales pertenecen al grupo trófico de los fungívoros y son considerados buenos indicadores de los suelos perturbados porque sobreviven a condiciones ambientales desfavorables (Andrés, 1990).

Los gamasinos (Gamasidae) son ácaros depredadores que ejercen un control sobre las poblaciones de nemátodos y otros microartrópodos edáficos. Chocobar (2010) señaló que este taxón es sensible a los suelos perturbados y a los cambios desfavorables en las precipitaciones y en la humedad del suelo, lo cual puede deberse a la fragilidad de su cuerpo. Estas características lo convierten en un buen

indicador de la calidad de los suelos, al presentar una mayor abundancia en los que están menos perturbados.

Los prostigmados (Prostigmata), sin embargo, son dominantes en los suelos pobres en nutrientes y con bajos valores de carbonato de calcio, bajo contenido de materia orgánica y poca humedad. En su gran mayoría son depredadores, con estructura frágil y pequeño tamaño, por lo que presumiblemente tienen una notable sensibilidad ante las fluctuaciones de las condiciones hídricas del sustrato (Andrés, 1990). Son más abundantes en áreas perturbadas debido a que tienen un alto potencial reproductivo; esto les permite adaptarse al efecto del factor perturbador, por lo que, en ausencia relativa de depredadores y competidores por el alimento, pueden aumentar rápidamente en número. Este grupo, por sus características ecológicas, también constituye un buen indicador.

En el caso de los colémbolos (Collembola) se conoce que dependen de la conjugación de los factores materia orgánica y humedad, y son susceptibles a las perturbaciones del medio (Chocobar, 2010). Según Bellinger, Christiansen y Janssens (2003), ellos desempeñan un papel decisivo en el reciclaje de los restos orgánicos y son capaces de fraccionar y triturar los restos vegetales, lo que aumenta la implantación de la microflora. Los alimentos que ingieren, una vez degradados, intervienen en la formación de humus; muchos suelos incorporan millones de bolitas de heces fecales de colémbolos que benefician las raíces, por la liberación continua de nutrientes, en la medida que estas son desintegradas por los microorganismos edáficos (Chocobar, 2010). Por otra parte, participan en el mantenimiento de las concentraciones de hongos y nemátodos favorables para el crecimiento de las plantas; pero además pueden comer hongos patógenos y con ello disminuyen las concentraciones fungosas en los cultivos, por lo que se utilizan como bioindicadores de la contaminación del suelo (González, Díaz y Prieto, 2003). Estos hexápodos constituyen indicadores del pH del suelo y la humedad; algunas especies son sensibles a los productos químicos, mientras que otras aumentan su densidad. También sirven para revelar las diferencias entre los bosques, así como en la evolución de los ecosistemas con diferentes grados de perturbación (Palacios-Vargas, 2000).

Los psocópteros (Psocoptera), por el contrario, son insectos pioneros en la recolonización de las áreas alteradas o perturbadas, por lo que su presencia es un indicador del proceso de recuperación progresiva del suelo. Se considera un grupo más abundante en condiciones de sequía. Hansen y Coleman (1998) reportaron que estos insectos son más cuantiosos en áreas descubiertas sin cobertura vegetal. Por otra parte, Ducarme, André, Wauthy y Lebrun (2004) los reportan como buenos descomponedores de fragmentos de plantas, hifas, hongos y esporas, además de detritos orgánicos.

Protura, Diplura y Pauropoda son grupos de la mesofauna muy poco frecuentes y de ecología poco conocida. Por sus características morfológicas (cuerpo blando, pequeño y sin quitina) y por sus funciones tróficas (detritívoros, fungívoros, fitófagos o herbívoros y depredadores) son considerados como indicadores de la estabilidad del medio edáfico.

Diplura es un grupo de microartrópodos que por lo general se encuentra en el suelo, bajo los troncos o las piedras y en la hojarasca; estos tienen un movimiento muy rápido cuando son molestados. También se conocen algunas especies que habitan en las cuevas, están altamente especializadas y prefieren estratos profundos con menor exposición a las perturbaciones del medio edáfico. Los dipluros son detritívoros y dependen especialmente de un grado de humedad moderado y constante (Palacios-Vargas, 2000). En España, Andrés (1990) reportó la presencia de este grupo en las plantaciones forestales con abundancia baja y su preferencia por las profundidades con condiciones hídricas más constantes.

En cuanto a Protura, sus piezas bucales estiliformes sugieren que se alimenta de nutrientes en disolución acuosa (Andrés, 1990) y que puede provenir de las micorrizas. La ecología de este grupo es muy similar a la de los colémbolos y habita en los estratos profundos, por tanto no se afecta por las alteraciones que ocurren en los estratos superiores.

Los paurópodos (Pauropoda) consumen microorganismos e hifas de hongos, por lo que se considera que están involucrados en la descomposición, aunque su contribución a este proceso y a la respiración del suelo pudiera ser relativamente pobre en comparación con la de otros grupos de la mesofauna. Algunos de sus representantes son depredadores. Estos individuos son muy sensibles a las prácticas agrícolas, con lo cual disminuye su población en un 70 % (Palacios-Vargas, 2000).

Como representantes de la herbivoría están los tisanópteros (Thysanoptera), los cuales se alimentan de las diferentes estructuras de las raíces de las plantas, y tienen su cuerpo blando y blanquecino.

Relaciones o balances entre taxones o grupos funcionales de la mesofauna

Teniendo en cuenta el comportamiento y las funciones de los grupos que componen la mesofauna del

suelo, en el medio edáfico, se han establecido relaciones o balances entre ellos. La utilización de estos grupos zoológicos en la evaluación del suelo conlleva un análisis cualitativo del papel trófico y funcional de cada taxa en su medio; así como de sus características morfológicas, la estacionalidad y el grado de sensibilidad a las perturbaciones producidas por el hombre o la naturaleza. Se debe hacer un estudio racional de la ecología de cada grupo para lograr una correcta interpretación de lo que ocurre en el medio, y para que las predicciones y recomendaciones sean acertadas y ayuden al mejoramiento y la conservación del medio edáfico.

Karg (1963) propuso el balance Oribatida/Astigmata, debido a la estrecha relación entre las densidades de oribátidos y astigmados, ya que mientras unos aumentan los otros disminuyen; de ahí la importancia de este balance para medir el grado de desequilibrio entre las biocenosis edáficas.

Otro balance, planteado por Andrés (1990), fue Oribatida/Prostigmata. Cuando los prostigmados –grupo indicador de la aridez y la oligotrofia– alcanzan la dominancia numérica con respecto a los oribátidos, el grado de desequilibrio de las comunidades del suelo es irreversible.

Mateos (1992) presentó la relación Acari/Collembola, la cual es útil para determinar el grado de perturbación en las zonas afectadas. Cuando esta es favorable a los colémbolos, grupo indicador de la fertilidad y estabilidad del medio edáfico, se considera que el ecosistema está conservado y es estable; mientras que si los más abundantes son los ácaros, habría que hacer un análisis de qué grupo de ácaros está dominando y cuál es su función en el suelo.

Bedano, Cantú y Doucet (2001) establecieron como efectiva la relación Astigmada/Mesostigmada para predecir la inestabilidad del medio edáfico. Si hay una fuerte presencia del grupo del numerador –indicador de inestabilidad– , se puede inferir que el medio está alterado e inestable.

Otra relación propuesta por Socarrás y Hernández (2010) fue detritívoros/recolonizadores, la cual permite conocer cuán avanzado está el proceso de recuperación del medio edáfico.

Utilización de los grupos de la mesofauna del suelo como indicadores de la calidad del medio edáfico

Los primeros reportes sobre el uso de los grupos que integran la mesofauna edáfica como indicadores biológicos a escala mundial fueron publicados por Hermosilla, Reca, Pujalte y Rubio (1977), al estudiar pastizales con diferentes grados de perturbación en Argentina. Estos autores encontraron que los oribátidos, los colémbolos, los gamásinos y los prostigmados presentaron densidades que estuvieron afectadas por el aumento de la compactación. En otro estudio acerca de esta temática, Aoki (1979) comprobó las características de las familias de oribátidos como bioindicadores, a través de su sensibilidad a los cambios ambientales producidos por los factores bióticos, abióticos y antrópicos; estas fueron clasificadas como insensibles, muy sensibles y grupos intermedios de sensibilidad. Por otro lado, Ponge (1980) utilizó especies de colémbolos como indicadores de las variaciones ecológicas; y recientemente, debido al gran problema de la contaminación ambiental, se ha estudiado la presencia de este grupo en suelos contaminados y la posible utilización de su abundancia como medida para evaluar los efectos de los contaminantes del suelo. Prasse (1985) afirmó que las comunidades de ácaros y colémbolos muestran cambios en su composición, debido a la influencia de las prácticas agrícolas, por lo que la presencia de un taxón o la combinación de taxones resultan efectivos como bioindicadores de los tratamientos con herbicidas.

En la década de los noventa se observó un avance en la evaluación de los ecosistemas a partir del comportamiento de los integrantes de la mesofauna edáfica. Andrés (1990), Van Straalen (1998) y Behan-Pelletier (1999) destacaron el papel de los oribátidos como indicadores biológicos de la humedad y del contenido de materia orgánica en los ecosistemas boscosos, así como en las plantaciones forestales y los agroecosistemas.

En años más recientes, al estudiar la respuesta de los colémbolos a la estacionalidad y a la presencia de metales pesados, Cole, Bradford, Shaw y Bardgett (2006) encontraron una presencia máxima en la época de mayor pluviosidad; mientras que estos decrecieron en la época de menor pluviosidad y con la adición de compuestos inorgánicos que contenían cadmio y zinc. Por otra parte, Bedano *et al*. (2001) aplicaron la relación oribátidos/astigmados, oribátidos/prostigmados y astigmados/mesostigmados en cuatro usos del suelo con distintos sistemas productivos, para evaluar la conservación del medio edáfico; mientras que Bellinger, Christiansen y Janssens (2003) destacaron el posible papel de los colémbolos como bioindicadores en la reforestación, la potencialidad agrícola de los suelos y su intensidad de uso.

También en esta década, Arroyo, Iturrondobeitia, Caballero y González-Carcedo (2003) investigaron en nueve parcelas de cultivo con tratamientos diferentes

en cuanto al tipo de fertilización o el manejo agrícola, y hallaron una disminución de los valores de densidad de oribátidos; al contrario de lo obtenido en un suelo no antropizado, donde se reportó a las familias Oppiidae (Oribatida) y Ascidae (Mesostigmata) como bioindicadores de bajos valores de metales pesados. Baretta *et al.* (2006) aplicaron un análisis multivariado en suelos cultivados, con importantes resultados en la evaluación del medio edáfico de diferentes ecosistemas, mediante la utilización de ácaros y colémbolos como indicadores biológicos de la estabilidad y la fertilidad del suelo. Por su parte, Gulvik (2007) realizó una revisión bibliográfica de la utilización de los ácaros como indicadores biológicos en pastizales.

En Cuba, estos estudios comenzaron a finales de la década de los ochenta por parte de diferentes instituciones del país, la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana (del Ministerio de Educación Superior) y el Instituto de Ecología y Sistemática de la Agencia de Medio Ambiente (del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). En la década del noventa, dos instituciones del Ministerio de Educación Superior se sumaron a las investigaciones para evaluar los pastizales con manejo pecuario a partir de la mesofauna del suelo, en las provincias Mayabeque y Matanzas: el Instituto de Ciencia Animal y la EEPF "Indio Hatuey", respectivamente. Los estudios se realizaron en diferentes ecosistemas, tales como: bosques, pastizales, áreas mineras rehabilitadas, áreas rehabilitadas con especies bioenergéticas, cultivos y suelos urbanos.

Bosques

Una línea abordada fue la evaluación de los bosques. El mayor porcentaje de individuos correspondió a los ácaros, debido a la notable contribución de los oribátidos, con un predominio numérico (13 653 ind/m^2); el segundo lugar lo ocuparon los colémbolos, cuya densidad promedio fue de 3 975 ind/m^2 (Berazaín y Prieto, 2001). Prieto, González y Tcherva (2005) reportaron valores superiores de riqueza taxonómica para Oribatida en otro bosque secundario de Cuba (21 familias).

Las valoraciones de los bosques de Brasil y Cuba (Prieto, Bonfante-Almeida, Ramadán y Fernández, 2002; Prieto *et al.*, 2005) mostraron resultados muy interesantes con respecto al grado de sensibilidad de las diferentes familias de ácaros y colémbolos ante las perturbaciones del medio.

Pastizales

Socarrás (1999) evalúo las relaciones entre los grupos de la mesofauna del suelo en pastizales con diferentes manejos y perturbaciones (pastoreo tradicional, pastoreo intensivo y quema) en las provincias de Mayabeque y Matanzas. Los grupos más afectados fueron los colémbolos y los gamasinos, indicadores de la estabilidad y la fertilidad del suelo debido a que son muy susceptibles a las perturbaciones del medio por tener cuerpos blanquecinos y blandos; ello permitió hacer una evaluación de los métodos y la necesidad de recomendar el cambio de práctica pecuaria. Esta autora desarrolló otros estudios en áreas de la EEPF "Indio Hatuey", con el objetivo de relacionar la presencia de determinados grupos de la mesofauna en especies de pasto que poseen diferentes estructuras morfológicas. La mayor cantidad de familias de la mesofauna se encontró en *Andropogon gayanus* y *Cenchrus ciliaris*; estas gramíneas presentan estructuras que garantizan las condiciones óptimas para el establecimiento de la edafofauna en situaciones extremas de carencias y perturbación del suelo (Socarrás, Rodríguez, Sánchez y Ávila, 2005).

Por otra parte, Rodríguez *et al.* (2008a) evaluaron integralmente el complejo suelo-planta con silvopastoreo en una unidad lechera de La Habana, en la cual reportaron valores inferiores de colémbolos y ácaros con respecto al resto de la mesofauna. También Rodríguez *et al.* (2008b) realizaron una compilación de las investigaciones sobre la biota del suelo y su papel en la sostenibilidad de los sistemas, así como en el reciclaje de nutrimentos y el papel de la fauna en los pastizales sometidos a pastoreo racional Voisin (PRV).

Áreas mineras rehabilitadas

Socarrás y Rodríguez (2004) y Socarrás y Rodríguez (2007) evaluaron la variación de la relación o balance de los grupos que integran la mesofauna edáfica en áreas reforestadas de la zona minera de Moa (en Holguín), con respecto a un bosque natural remanente. El análisis de dicha variación, después de 16 años de iniciada la rehabilitación del área con *Pinus cubensis*, mostró un salto cualitativo y cuantitativo de los bioindicadores de la estabilidad y la fertilidad del suelo (oribátidos y colémbolos); así como una fuerte recolonización del área por un mayor número de especies de plantas nativas. Se hallaron valores de densidad semejantes a los del bosque natural remanente, lo que indica la resiliencia del sistema suelo en las condiciones estudiadas (tabla 1).

Áreas rehabilitadas con especies bioenergéticas

A partir de los resultados de las evaluaciones en áreas rehabilitadas con la siembra de especies

Tabla 1. Relación área rehabilitada/bosque natural para la mesofauna y los grupos que la integran (ind/m^2).

	16 años	10 años	6 años	4 años
Mesofauna	0,969	1,008	0,920	0,945
Oribátidos	0,709	0,429	0,162	0,161
Astigmados	1,500	2,818	2,764	2,277
Gamásinos	0,666	0,506	0,363	0,666
Prostigmados	0,912	0,818	1,692	1,583
Colémbolos	0,714	0,187	0,376	0,333
Psocópteros	1,504	2,607	1,433	0,994

vegetales bioenergéticas, se propuso un nuevo índice para conocer cuán avanzado estaba el proceso de recuperación del medio edáfico, el cual involucró dos grupos funcionales: detritívoros y recolonizadores (Socarrás y Hernández, 2010). La categoría funcional del numerador incluyó los taxones cuya función trófica es descomponer el material orgánico y simplificar el ataque por los microorganismos edáficos, para su posterior incorporación al suelo. Los recolonizadores están compuestos por los psocópteros, que son insectos pioneros en la recolonización de áreas alteradas o perturbadas. Cuando este balance favorece al denominador o es menor que uno, demuestra que hay superioridad en la densidad de los psocópteros respecto a la de los grupos detritívoros en el área analizada. Además indica que esta aun se encuentra en el proceso de recuperación de su fertilidad y estabilidad, y que no se han creado las condiciones necesarias para el establecimiento de los grupos detritívoros más exigentes. A medida que el valor del numerador se hace mayor que uno, esto significa que hay un dominio de detritívoros y se puede pronosticar un restablecimiento de las condiciones de estabilidad en el suelo.

Cultivos

Prieto, González y Díaz (1989), al estudiar la influencia de las técnicas de cultivo en plantaciones de yuca, obtuvieron valores mínimos de la mesofauna; se destacaron los oribátidos y estuvieron deprimidas las poblaciones de colémbolos. Las evaluaciones se extendieron a otros cultivos como la caña de azúcar, en la provincia La Habana (González, 2001; González *et al*., 2003), y se encontraron valores de densidad de 2 000 ind/m^2 para Psocoptera, en suelo Ferralítico Rojo.

En las parcelas de cítricos de Artemisa, durante el período de reconversión, Socarrás y Vallín (2004) encontraron una mayor diversidad y densidad de grupos detritívoros en las parcelas orgánicas y asociadas a leguminosas. Asimismo, la evaluación de una finca integral ganadería-agricultura en Artemisa, a partir de la relación oribátidos/astigmados y la presencia de otros grupos de la mesofauna edáfica, permitió conocer que las prácticas agrícolas que se estaban aplicando en el área de policultivo no favorecían la recuperación de esta fauna ni la estabilidad y la conservación del medio edáfico (Socarrás, 2006). En Jovellanos –Matanzas–, en un pastizal y una caña con arrope, Robaina (2009) y Robaina, Socarrás y Pérez (2010) constataron que uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta para garantizar la vida en el suelo es mantener una adecuada cobertura, a través de las relaciones oribátidos/astigmados y oribátidos/prostigmados. Por otra parte, en un estudio realizado en cuatro usos de la tierra (bosque, pastizal, cultivos varios y caña de azúcar) de la llanura roja de Artemisa y Mayabeque (fig.1) se aplicó la relación oribátidos/astigmados y se observó que en la caña de azúcar la relación era menor que uno, o sea, que dominaban los astigmados, por lo que existía una perturbación en este uso (Socarrás y Robaina, 2011).

Suelos urbanos

Los suelos urbanos del municipio Regla, Ciudad de La Habana (Fresquet *et al.*, 2009), se evaluaron a partir de las relaciones entre los grupos que integran la mesofauna (fig. 2). En algunas áreas la relación se acercó peligrosamente a uno, o sea, existió la misma cantidad de indicadores de fertilidad y de infertilidad. Este resultado permitió recomendar un cambio de manejo en esos escenarios.

En las evaluaciones desarrolladas a nivel internacional, las relaciones o balances más aplicados han sido oribátidos/astigmados, oribátidos/prostigmados y ácaros/colémbolos, debido a que estos grupos edáficos son más abundantes en el suelo y tienen una función bien definida. En Cuba, los más utilizados son los dos primeros porque expresan muy bien el estado ecológico del medio edáfico. Sin embargo,

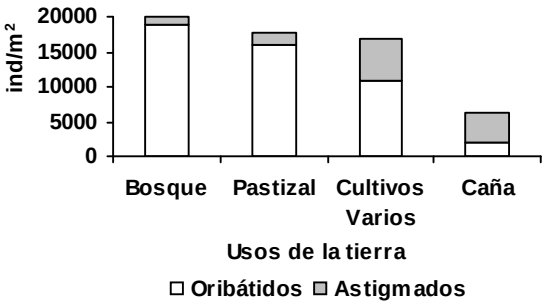

Fig. 1 Relación oribátidos/astigmados en cuatro usos de la tierra en la llanura roja de Artemisa y Mayabeque.

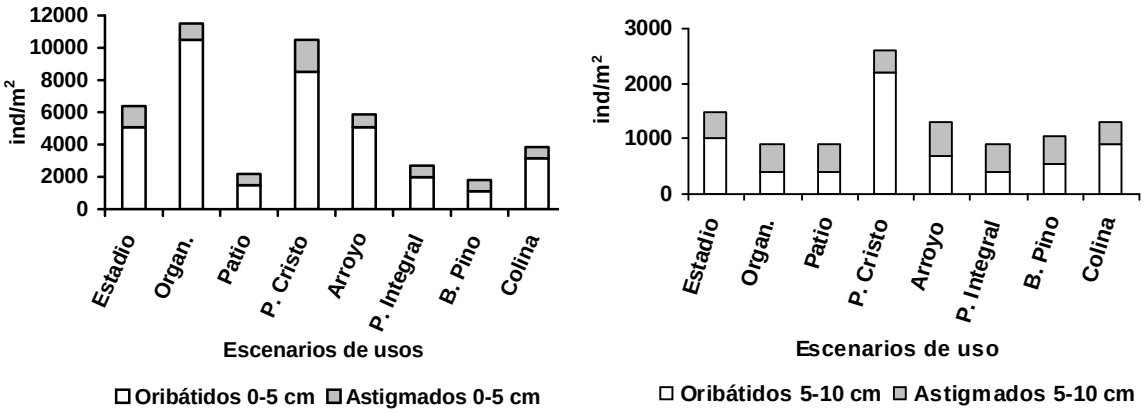

Fig. 2. Relación oribátidos/astigmados en los ocho escenarios de uso del municipio Regla.

la autora de esta revisión ha empleado poco la relación ácaros/colémbolos, porque según su criterio no expone claramente la situación en que se encuentra el suelo, al tener en el numerador una categoría (ácaros) que involucra grupos indicadores de fertilidad y de infertilidad, por lo que su dominancia no muestra la situación real del medio y se necesita un análisis cualitativo de los grupos y sus funciones.

De manera general, la utilización en Cuba de estos indicadores biológicos en investigaciones y/o monitoreo de los ecosistemas con diferentes grados de perturbación antrópica o natural ha permitido constatar la situación en que se encuentra el medio edáfico y su capacidad de recuperación; así como formular recomendaciones sobre los cambios de manejo necesarios para lograr una producción en equilibrio con la conservación del medio ambiente.

CONCLUSIONES

Los grupos de la mesofauna del suelo son muy sensibles a los cambios que ocurren en el medio edáfico por causas naturales o antrópicas, lo que provoca variaciones en su densidad y diversidad; por esta causa son considerados como certeros indicadores del estado ecológico del suelo. El análisis cualitativo de los grupos que integran esta categoría zoológica permitirá hacer una evaluación adecuada de la calidad del medio edáfico.

Las relaciones entre los diferentes grupos tróficos y funcionales antagónicos de la mesofauna se deben considerar como un índice y no un valor fijo. Las más usadas son oribátidos/astigmados y oribátidos/prostigmados. Estos balances permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por el cambio climático y la aplicación de diferentes métodos de producción minera, agrícola y pecuaria, en condiciones edafoclimáticas específicas. Además, contribuyen a considerar integralmente el funcionamiento del ecosistema.

En la última década, en Cuba se ha incrementado el uso de la mesofauna del suelo como un bioindicador para la evaluación del medio edáfico; sin embargo, existen pocos especialistas y conocimientos sobre la temática, por lo cual no se ha generalizado su práctica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrés, P. 1990. Descomposición de la materia orgánica en dos ecosistemas forestales del macizo del Montseny (Barcelona): papel de los ácaros oribátidos (Acarina, Oribatei). Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. 237 p.

Aoki, J. 1979. Difference in sensitivities of oribatd families to environmental change by human impacts. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 16 (3):415.

Arroyo, J.; Iturrondobeitia, J.C.; Caballero, A.I. & González-Carcedo, S. 2003. Una aproximación al uso de taxones de artrópodos como bioindicadores de condiciones edáficas en agroecosistemas. *Boletín de la. S.E.A.* (32):73.

Baretta, D. *et al.* 2006. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. *Pesq. agropec. bras.* 41 (11):1675.

Bedano, J.C.; Cantú, M.P. & Doucet, M.E. 2001. La utilización de ácaros edáficos como indicadores de calidad de suelos en agroecosistemas del centro de Argentina. Memorias. XV Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Suelo. [CD-ROM]. Varadero, Cuba.

Behan-Pelletier, V.M. 1999. Oribatidmites biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agric. Ecosyst. and Environ.* 74:411.

Bellinger, P.F.; Christiansen, K.A. & Janssens, F. 2003. Checklist of the Collembola: Families. Department of Biology. University of Antwerp (RUCA).

Antwerp, Belgium. [Disponible en:] http://www.collembola.org./taxa/collembo.htm. [13/01/2011]

Berazaín, R. & Prieto, D. 2001. Relationships among vegetation, flora and litter-divellingmicroarthropods in an urban forest stand of Sao Jose do Rio Preto, State of Sao Paulo, Brazil. *Revista del Jardín Botánico Nacional.* 22 (1):93.

Chocobar, Eneyda A. 2010. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejos en un experimento de larga duración. Tesis en opción al grado científico de Máster en Ciencias, Especialista en Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 63 p.

Cole, L.; Bradford, M.A.; Shaw, P.J.A. & Bardgett, R.D. 2006. The abundance, richness and functional role of soil meso and macrofauna in temperate grassland. A case study. *Applied Soil Ecology.* 33 (2):186.

Ducarme, X.; André, H.M.; Wauthy, G. & Lebrun, P. 2004. Are there real endogeic species in temperate forest mites? *Pedobiologia.* 48:139.

Fresquet, A. *et al*. 2009. Diseño de espacios urbanos para la agricultura en el municipio Regla, Ciudad de La Habana. *Agricultura Orgánica.* 15 (1):9.

García-Álvarez, A. & Bello, A. 2004. Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. Memorias. I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost. León, España. p. 211.

González, V. 2001. Mesofauna edáfica asociada a un cultivar de caña de azúcar. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Facultad de Biología, Universidad de La Habana. 177 p.

González, V.; Díaz, M. & Prieto, D. 2003. Influencia de la cobertura vegetal sobre las comunidades de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales de caña de azúcar. *Rev. Biología.* 17 (1):18.

Gulvik, M.E. 2007. Mites (acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: a review. *Polish Journal of Ecology.* 55 (3):415.

Hansen, R.A. & Coleman, D.C. 1998. Litter complexity and composition are determinants of the diversity and species composition of oribatid mites (Acari: Oribatida) in litterbags. *Appl. Soil Ecol.* 9:17.

Hermosilla, W.; Reca, A.R.; Pujalte, J.C. & Rubio, Y. 1977. Efectos de la compactación del suelo sobre la fauna edáfica en campos pastoreados Partido de Chascomús, provincia de Buenos Aires. *Physis. Secc. C.* (Buenos Aires). 36 (92):227.

Karg, W. 1963. Die edaphischen Acarina in ihren Beziehungenzur Mikrofloraund ihren Eignung also Anzeiger fur Prozesse der Bodenbildung. In: Soil organisms. (Eds. J. Doeksen and J. van der Drift). North-Holland Publishing Co. Amsterdam, p. 305.

Mateos, E.1992. Colémbolos (Collembola:*Insecta*) edáficos de encinares de la Serra de l'Ova y de la Serra de Prades (Sierra prelitoral catalana). Efecto de los incendios forestales sobre estos artrópodos (inédito). Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Dpto. de Biología Animal.

Palacios-Vargas, J.G. 2000. Protura y Diplura. En: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. (Eds. J. Llorente, E. González y N. Papayero). Vol. II, UNAM, México. p. 275.

Ponge, J.F. 1980. Les biocenoses des collemboles de la foret de Senart. In: Actualites et écologieforestiere. (Ed. P. Pesson). Gauthier-Villars, París. p. 151.

Prasse, J. 1985. Indications of structural changes in the communities of microarthropods of the soil in an agro-ecosystem after applying herbicides. *Agric. Ecosys. and Environ.* 13:205.

Prieto, D.; Bonfante-Almeida, J.C.; Ramadán A. & Fernández, E. 2002. Litter microarthropod community in an urban forest stand of Sao Paulo, Brazil. *Rev. Biol.* 16 (2):123.

Prieto, D.; González, V. & Díaz, M. 1989. Composición y abundancia de insectos y ácaros edáficos en una plantación de *Manihot esculenta* Crantz. *Cien. Biol.* 21-22:137.

Prieto, D.; González, V. & Tcherva, T. 2005. Microartrópodos asociados a la hojarasca de un bosque semideciduo de Bacunayagua, Matanzas, Cuba. *Revista Biología.* 19 (1-2):57.

Robaina, Nayla. 2009. Caracterización de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales en Jovellanos, Matanzas, Cuba. Trabajo de Curso. Universidad Agraria de La Habana. Facultad de Agronomía. 31 p.

Robaina, N.; Socarrás, Ana & Pérez, D. 2010. Importancia de la cobertura vegetal para el desarrollo de la diversidad biológica del suelo. *Agricultura Orgánica.* 16 (2):30.

Rodríguez, Idalmis *et al*. 2008a. Evaluación integral del complejo suelo-planta en una unidad lechera, con silvopastoreo, en la provincia La Habana, Cuba. *Rev. cub. Cien. agríc*. 42 (4):403.

Rodríguez, Idalmis *et al*. 2008b. 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. Milagros de la C. Milera). EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 281.

Scheu, S. 2002. The soil food web: structure and perspectives. *European Journal of Soil Biology.* 38:11.

Socarrás, Ana. 1999. Mesofauna edáfica en suelos antropizados. Tesis en opción al título académico de Máster en Ecología y Sistemática Aplicada, Mención Ecología. Ciudad de La Habana.

Socarrás, Ana. 2006. Utilización de la acarofauna edáfica como indicador biológico del estado de los suelos con manejo orgánico en la provincia de La Habana, Cuba. *Poeyana.* 494:31.

Socarrás, Ana & Hernández, G. 2010. Evaluación de áreas rehabilitadas con *Ricinus communis* y *Jatropha curcas* mediante la fauna edáfica en la provincia de Guantánamo**.** Memorias. III Simposio Internacional de Restauración Ecológica. Villa Clara, Cuba.

Socarrás, Ana & Robaina, N. 2011. Caracterización de la mesofauna edáfica bajo diferentes usos de la tierra en suelo Ferralítico Rojo de Mayabeque y Artemisa. *Pastos y Forrajes.* 34:185.

Socarrás, A.& M.E. Rodríguez. 2004. Utilización de la mesofauna como indicador biológico en áreas recultivadas con *Pinus cubensis* en la zona minera de Moa, Holguín, Cuba. En: Memorias del Primer Encuentro Internacional sobre Restauración Ecológica. [CD-ROM]

Socarrás, Ana & Rodríguez, M.E. 2007. Evaluación de la mesofauna en áreas rehabilitadas con casuarina y marañón de la zona minera de Moa. *Centro Agrícola.* 34 (2):69.

Socarrás, Ana; Rodríguez, M.E.; Sánchez, J. & Ávila, A. 2005. Variación de la mesofauna edáfica en cuatro especies de pasto. *Poeyana*. 492:34.

Socarrás, A. & Vallín, G. del. 2004. Utilización de la mesofauna edáfica como indicador biológico del estado del suelo. III. Parcelas de cítricos durante el período de reconversión en la provincia La Habana. *Rev. Cocuyo* 14:9.

Straalen, N.M. van. 1998. Evaluation of bioindicator system derived from soil arthropod communites. *Appl. Soil Ecol*. 9:429.

Recibido el 14 de marzo del 2011
Aceptado el 13 de noviembre del 2012

RESUMEN DE TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

TÍTULO: MODELO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA. EXPERIENCIAS EN LA UBPC **"**EL ZAPATO**"**, MUNICIPIO MARTÍ, PROVINCIA DE MATANZAS

AUTORA: *ING. MAYBE CAMPOS GÓMEZ, MSC.*

Se concibió un Modelo de Gestión Estratégica (MGE) apropiado para apoyar la toma de decisiones en organizaciones agropecuarias. Se partió de diversos modelos conceptuales y de aplicación, asociados a la educación, la investigación agropecuaria y el desarrollo local, especialmente del modelo CIPP por las premisas y características que lo sustentan. El MGE se estructuró en cuatro etapas interconectadas, lo cual permitió formular la planificación estratégica y su posterior implementación y control –con un enfoque holístico–; fundamentado en el conjunto de procedimientos que constituyen su estructura metodológica y apoyado, además, en un sistema de información geoespacial y en un conjunto de indicadores. A partir del año 2006, la UBPC "El Zapato" fue objeto del estudio práctico, lo que validó el modelo como instrumento pertinente para apoyar los procesos de toma de decisiones dirigidas a establecer programas de desarrollo sostenible en entidades agropecuarias. Ello permitió demostrar la hipótesis general de investigación, por la capacidad explicativa, consistencia lógica, factibilidad, flexibilidad y pertinencia del MGE al integrarlo a los mencionados procesos; así como apreciar los resultados tangibles e intangibles derivados de su implementación.