

CAPÍTULO

14

FAUNA DEL SUELO



Escolopendra con sus crías

FAUNA DEL SUELO

GRISSEL CABRERA DÁVILA¹

ANA A. SOCARRÁS¹

ESTEBAN GUTIÉRREZ CUBRÍA²

TAMARA TCHERVA³

CARLOS A. MARTÍNEZ-MUÑOZ⁴

ADRIANA LOZADA PIÑA⁵

1. Instituto de Ecología y Sistemática

2. Museo Nacional de Historia Natural de Cuba

3. Facultad de Biología, Universidad de La Habana

4. Universidad de Greifswald, Alemania

5. Universidad de la Serena, Chile

INTRODUCCIÓN

CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN DE LA FAUNA EDÁFICA O DEL SUELO

El suelo está formado a partir de los horizontes superficiales o externos de las rocas, que fueron modificados de manera natural mediante la acción conjunta del agua, el aire y las distintas clases de organismos vivos y muertos (Dokuchaev, 1899). En este concepto antiguo se destaca, en el proceso de formación del suelo, el papel de los organismos que forman la biota edáfica. La fauna del suelo constituye el 10 % de esta biota, y comprende aquellos organismos que pasan toda o una parte de su vida en el interior del suelo, sobre la superficie inmediata de éste, en la hojarasca superficial, en los troncos caídos en descomposición y en otros ambientes anexos llamados suelos suspendidos (Brown *et al.*, 2001).

De acuerdo a la talla del animal adulto y su forma de vida, existe una clasificación primaria de la fauna del suelo que la divide en *microfauna*, *mesofauna* y *macrofauna* (Fragoso *et al.*, 2001). La *microfauna* contempla organismos acuáticos menores de 0,2 mm de longitud y 0,1 mm de diámetro, que pueden ser hallados en el agua contenida entre las partículas del suelo, e incluye a los nemátodos,



Espirololida (*Rhinocricus* sp.)

protozoos y rotíferos. La *mesofauna* agrupa a individuos microscópicos, de 4 mm de longitud y entre 0,2 a 2 mm de diámetro. Vive en la hojarasca y/o en el interior del suelo y entre sus integrantes se pueden señalar a los ácaros del suelo, colémbolos, proturos, dipluros, psocópteros, tisanópteros o trips, paurópodos, sínfilos y enquitreidos (Fig. 14.1). Por otra parte, la *macrofauna* está compuesta por invertebrados que poseen una longitud igual o mayor de 10 mm y un ancho de cuerpo mayor de 2 mm, por lo que se pueden detectar a simple vista. Vive también dentro del suelo o inmediatamente sobre él y reúne esencialmente a las lombrices de tierra, moluscos, cochinillas, milpiés, ciempiés, arácnidos y diversos insectos (Fig. 14.2).

DIVERSIDAD, FUNCIÓN Y TAXONOMÍA

En este capítulo de fauna del suelo solo se abordarán las categorías de la mesofauna y la macrofauna, debido al escaso conocimiento en el país sobre la microfauna, mayormente en aspectos de su ecología. En el medio edáfico ocurren diferentes procesos como consecuencia de la actividad de la edafofauna. Muchos organismos que componen la mesofauna (e. g. ácaros oribátidos, colémbolos, enquitreidos) y la macrofauna edáfica (e. g. lombrices de tierra, termitas, hormigas) tienen verdadera importancia en las transformaciones de la

materia orgánica y las propiedades físicas del suelo, estableciendo canales y poros que favorecen la aireación, el drenaje, la estabilidad de agregados y la capacidad de retención de agua; y siendo considerados por ello micro- y macro-ingenieros del suelo y del ecosistema. Estos, además, generan estructuras biogénicas que son reservorios de nutrientes (*e. g.* heces fecales de lombrices de tierra y nidos de termitas y hormigas), controlan la disponibilidad de recursos para otros organismos y activan la microflora edáfica a través de interacciones mutualistas (Jones *et al.*, 1994). Otros autores señalan la conexión de la biota del suelo con servicios ambientales, como el secuestro y la liberación del carbono, y por tanto con la regulación de la composición de gases atmosféricos y con el cambio climático (Swift *et al.*, 2012).

La fauna edáfica se puede separar en los grupos funcionales de detritívoros, fungívoros, herbívoros, depredadores y omnívoros, según

su hábito alimentario y su contribución al funcionamiento multitrofico del ecosistema (flujos de energía y mejoramiento de la calidad del suelo) (Zerbino *et al.*, 2008; Swift *et al.*, 2012; Barnes *et al.*, 2014).

El grupo funcional de los detritívoros, abarca gran parte de los invertebrados que habitan en el interior del suelo (endógeos) y en su superficie (epígeos). Estos últimos, son los principales encargados de triturar los restos vegetales y animales que forman la hojarasca, lo cual reduce el tamaño de las partículas de detrito e incrementa la superficie expuesta a la actividad descomponedora de bacterias y hongos. Sin la acción de los organismos detritívoros (*e. g.* ácaros oribátidos y uropodinos, colémbolos, proturos, psicópteros, lombrices de tierra, moluscos, cochinillas, milpiés, termitas), se hacen más lentos los procesos de descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en el suelo.



Figura 14.1. Táxones de la mesofauna del suelo. A, B y C. Colémbolos (Collembola: Symphypleona, Entomobryomorpha). D, E y F. Ácaros (Acari: Mesostigmata, Cryptostigmata). G. Sífilo (Symphylla). H. Dipluro (Diplura). I. Trips (Thysanoptera).

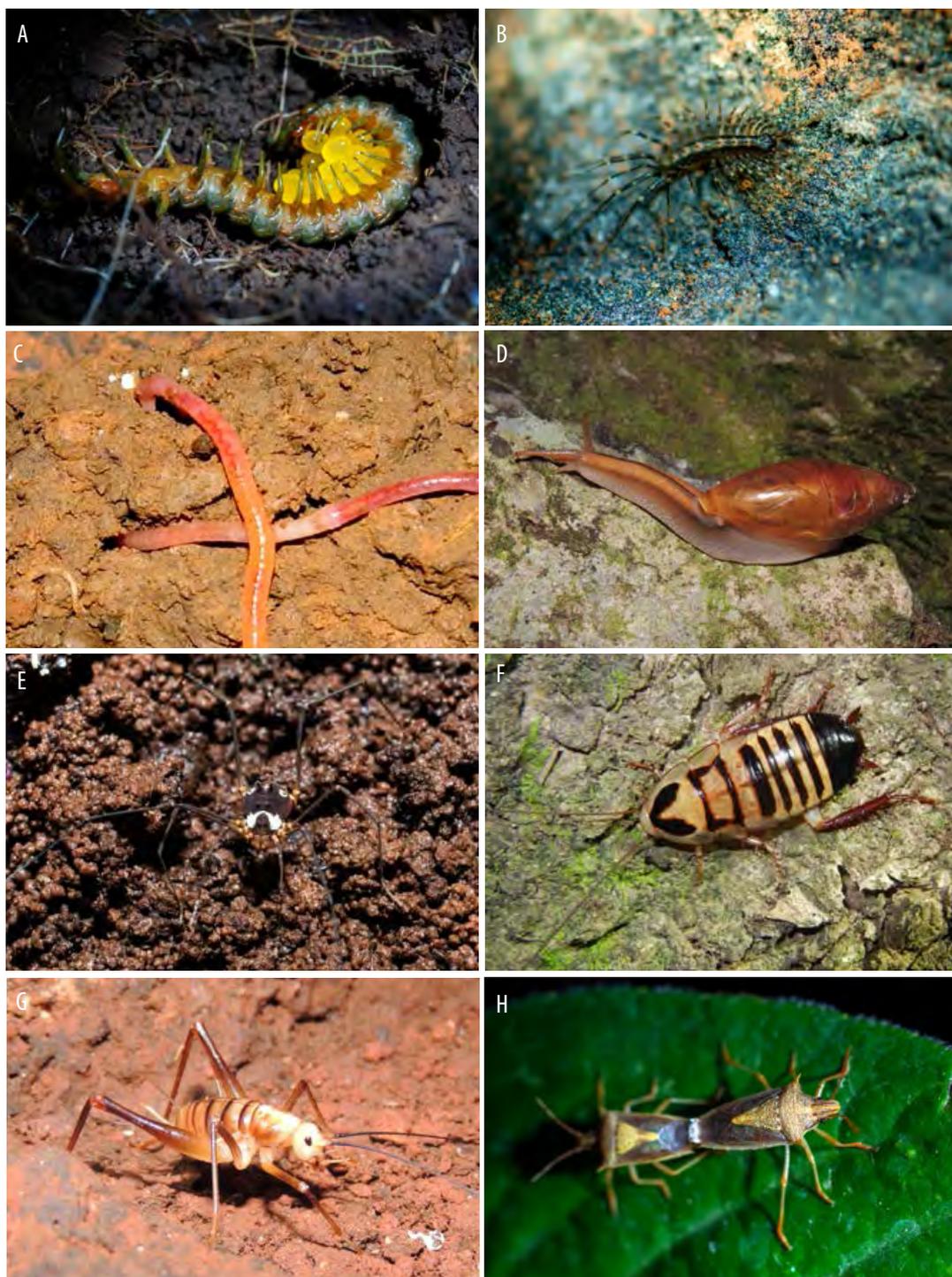


Figura 14.2. Táxones de la macrofauna del suelo. A y B. Ciempiés (Chilopoda: Scolopendromorpha, Scutigleromorpha). C. Lombrices de tierra (Haplotaxida). D. Caracol (Gastropoda). E. Opilión (Opiliones). F. Cucaracha (Dictyoptera: Blattaria). G. Grillo (Orthoptera). H. Chinchas (Hemiptera: Heteroptera).

Por su parte, los fungívoros (*e. g.* ácaros astigmados, paurópodos) son comedores de hongos y los herbívoros (*e. g.* trips, chinches, salta hojas, orugas, larvas de escarabajos) se alimentan de las partes vivas de las plantas, lo que influye sobre la cantidad de material vegetal que ingresa al suelo. Los depredadores (*e. g.* ácaros gamasinos y prostigmados, dipluros, ciempiés, arañas, escorpiones, escarabajos adultos) consumen invertebrados y pequeños vertebrados vivos, de forma que modifican el equilibrio de sus poblaciones, el balance entre estas y los recursos disponibles en el ecosistema. Por último, los omnívoros (*e. g.* sínfilos, cucarachas, hormigas) consumen todo tipo de material de origen vegetal o animal.

En los Anexos 14.1 y 14.2 se exponen el nombre común, la ubicación taxonómica, las características morfológicas externas más distintivas (hasta nivel de clase u orden) y el grupo funcional, de los principales táxones que integran la mesofauna y la macrofauna del suelo. También para facilitar su identificación se ilustran con fotos estos táxones, que son importantes por su alta abundancia, frecuencia de aparición en el suelo y destacada intervención en el mejoramiento de la fertilidad edáfica.

En Cuba, en la actualidad existen pocos especialistas dedicados a la sistemática y taxonomía de los grupos que componen la mesofauna y la macrofauna del suelo. Por tal razón, en la Tabla 14.1 se resumen la diversidad de especies y el nivel de endemismo en el país, solo de los táxones con la información disponible y de gran significación funcional en el suelo. Grupos notables como los caracoles, las arañas y determinados insectos, entre ellos las hormigas y los escarabajos, no se incluyen porque se abordan de forma más profunda en otros capítulos.

IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LA FAUNA EDÁFICA Y SU UTILIZACIÓN COMO BIOINDICADOR DE LA CALIDAD DEL SUELO

La transformación de los ecosistemas naturales con fines agrícolas o mineros resulta

en un impacto directo sobre las comunidades vegetales y la estructura física del suelo. En el suelo, provoca cambios negativos en la composición y la estructura de la fauna que lo habita, así como en el funcionamiento de este recurso y en general del ecosistema. Diversos autores enfatizan sobre la relación directa entre la eliminación de los invertebrados edáficos y la disminución de la estabilidad y fertilidad del suelo. Las variaciones ocurridas en estas comunidades dependen en primera instancia del cambio y la intensidad del uso de la tierra, que a su vez condicionan factores edáficos determinantes para la edafofauna, tales como la temperatura, la humedad, la textura, el estatus nutricional y el contenido de materia orgánica (Lavelle *et al.*, 1994; Ruiz *et al.*, 2008).

Los estudios conducidos en el mundo y en Cuba sobre las transformaciones ocurridas en las comunidades de la mesofauna y la macrofauna edáfica debido a la utilización de diferentes prácticas de manejo, y la derivación de la aplicación de estos grupos como indicadores de condiciones de conservación/perturbación, se reseñan en trabajos publicados últimamente por autores cubanos (Cabrera, 2012; Socarrás, 2013).

Para la mesofauna del suelo, los estudios más actuales obtuvieron en ecosistemas conservados un mayor porcentaje de ácaros debido a la considerable contribución de los oribátidos y el segundo lugar lo ocuparon los colémbolos. Asimismo, las perturbaciones afectaron más a los colémbolos y a los ácaros gamasinos, lo que fue atribuido a su susceptibilidad por la morfología de sus cuerpos blancos y blandos. Los datos alcanzados en el país permitieron valorar el estado de salud del medio edáfico, su capacidad de recuperación y advertir sobre la necesidad de nuevos manejos para una producción estable del suelo (Socarrás y Rodríguez, 2007; Socarrás y Robaina, 2011a y b; Hernández *et al.*, 2012; Socarrás e Izquierdo, 2014, 2016).

Respecto a la macrofauna, las primeras investigaciones en Cuba se efectuaron en ecosistemas boscosos y forestales, principalmente de

Tabla 14.1. Diversidad y endemismo de especies de la fauna del suelo en el archipiélago cubano.

TÁXONES	ESPECIES	ENDEMISMO (%)
Ácaros oribátidos (Acari: Cryptostigmata)	191	-
Colémbolos (Collembola)	117	19
Lombrices de tierra (Haplotaxida)	46	39,1
Cochinillas (Isopoda)	72	69,4
Milpiés (Diplopoda)	100	93
Ciempiés (Chilopoda)	45	48,9
Termitas (Isoptera)	32	16
Cucarachas (Dictyoptera: Blattaria)	89	59,5

la Sierra del Rosario (González y López, 1987; Prieto y Rodríguez, 1996). Más adelante la mayoría de los estudios ecológicos se llevaron a cabo en sistemas de uso de la tierra de importancia agrícola, pecuaria y forestal, y evaluaron la intensidad del uso a partir de los cambios producidos en la macrofauna edáfica (Rodríguez, 2000; Cabrera *et al.*, 2011a y b; Rodríguez *et al.*, 2011; García *et al.*, 2014; Chávez *et al.*, 2016). Todos los autores confirmaron que sistemas con elementos arbóreos, mayor cobertura sobre el suelo, estabilidad en la temperatura y humedad edáfica y más altos tenores de materia orgánica, incrementaron la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados edáficos y en especial de grupos detritívoros. Por el contrario, sistemas de intenso laboreo, con uso de maquinarias y fertilización química, con alta compactación y bajos contenidos de materia orgánica tuvieron una mayor degradación edáfica en conjunción con la pérdida de la calidad biológica del suelo.

La fauna del suelo es un bioindicador apropiado dado sus hábitos relativamente sedentarios y presencia a lo largo del año, su facilidad de medición y su alta sensibilidad y rápida respuesta al estrés ambiental. No obstante, se reconoce la importancia del estudio integrado de las propiedades físicas, químicas y biológicas para explicar el estado de salud del suelo, pero es necesario señalar que utilizar indicadores biológicos, como puede ser la fauna edáfica, sobre mediciones físicas y químicas tiene ventaja porque son los primeros

en manifestar los cambios que implican los disturbios del medio, además de por sí solos requerir pocos recursos y un menor costo (McGeoch *et al.*, 2002; Ferrás *et al.*, 2010; De Vries *et al.*, 2013).

Por ejemplo, como indicador de la mesofauna, el índice más utilizado ha sido oribátidos/astigmados, el cual fue propuesto por Karg (1963). Los ácaros oribátidos como organismos detritívoros, son sensibles y disminuyen ante bajos contenidos de materia orgánica, baja humedad edáfica y prácticas agrícolas con un efecto negativo en el suelo; sin embargo, los ácaros astigmados son considerados buenos indicadores de suelos perturbados porque sobreviven y se incrementan en escenarios desfavorables (Andrés, 1990; González, 2000). Otros índices que han sido creados a nivel internacional son oribátidos/prostigmados (Andrés, 1990), ácaros/colémbolos (Mateos, 1992) y astigmados/mesostigmados (Bedano *et al.*, 2001), a partir de la alta abundancia y la función definida de estos grupos en el suelo.

En el país también han sido aplicados para la mesofauna la relación área transformada/área de origen, que sugiere la capacidad de recuperación de un ambiente (Ares *et al.*, 2001; Socarrás y Rodríguez, 2005) y el índice recién propuesto por Hernández *et al.* (2012) y Socarrás (2013) de detritívoros/recolonizadores, el cual puede detectar el estado avanzado de recuperación del medio edáfico ante un predominio significativo de detritívoros

sobre recolonizadores, estos últimos representados esencialmente por los psicópteros.

Para la macrofauna se han diseñado diversos índices o formulaciones que involucran la abundancia y diversidad de esta fauna y también su relación con propiedades físicas y químicas del suelo. Entre estos se encuentran el índice de densidad lombrices/termitas, el indicador multifuncional de calidad del suelo (GISQ) y el índice biológico de calidad del suelo (IBQS) (Barros *et al.*, 2002; Lavelle *et al.*, 2003; Velásquez *et al.*, 2007; Ruiz *et al.*, 2011).

En Cuba, teniendo en cuenta los resultados de la macrofauna alcanzados en diferentes ecosistemas semi-conservados y totalmente perturbados (Cabrera, 2012), se están proponiendo por primera vez indicadores entre grupos funcionales y taxonómicos que reflejan la calidad del suelo y su capacidad sostenible de uso (Hernández *et al.*, 2012; Cabrera *et al.*, 2017). Uno de estos indicadores, es la relación entre el número de individuos de organismos detritívoros/no detritívoros. Hasta el momento se ha constatado que la presencia y la abundancia de la fauna detritívora y en particular de grupos claves como las lombrices de tierra, se benefician ante circunstancias idóneas de humedad, temperatura y contenido de materia orgánica en el medio edáfico, así como por una mayor estabilidad y protección sobre el suelo, lo que podría indicar un estado favorable de fertilidad. Mientras que los grupos no detritívoros (omnívoros, fungívoros, herbívoros y depredadores) son más resistentes y adaptables a un variado rango de condiciones edáficas y climáticas y por tanto posibles indicadores de perturbación.

En una investigación desarrollada para diferentes ecosistemas con suelo ferralítico rojo en el occidente de Cuba (Cabrera *et al.*, 2011a), se determinó la proporción de individuos detritívoros con respecto a los restantes grupos funcionales, y se verificó la hipótesis del impacto negativo del cambio y la intensidad del uso de la tierra sobre la abundancia de la macrofauna detritívora (Fig. 14.3).

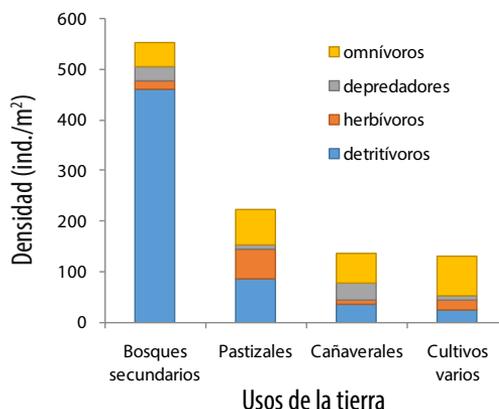


Figura 14.3. Composición funcional de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el occidente de Cuba.

Es importante destacar respecto a los índices abordados, tanto de la meso- como de la macrofauna, que no es necesaria la aplicación de todos ellos en un estudio determinado. La selección de su uso dependerá de la presencia y abundancia de los diferentes grupos, que permitan la evaluación de la situación de conservación/perturbación de los ecosistemas. En Cuba la intención actual y futura de investigación es continuar la identificación de relaciones entre los grupos, o específicamente táxones como indicadores del estado de salud y funcionalidad del suelo, para ser generalizados y aplicados en distintos tipos de suelo y sistemas de uso de la tierra.

MÉTODOS DE INVENTARIOS

MESOFAUNA

Recolecta en el campo. En las áreas a muestrear, se traza un transecto diagonal o varios transectos paralelos (hasta tres o cuatro), tratando de abarcar una mayor heterogeneidad del hábitat. En los transectos, se distribuyen y extraen un total de 10 a 12 muestras de suelo, separadas entre 5 a 20 m. La definición de los transectos y el distanciamiento entre muestras de suelo, se deben concretar en función de las características y extensión del área, así como del tipo de ecosistema o uso de la tierra (Malagón *et al.*, 1987). Para tomar las muestras de suelo se utiliza un cilindro o nucleador

de metal, de 5 cm de diámetro por 10 cm de altura. El cilindro se entierra en el suelo hasta el borde con el auxilio de un martillo, se saca y el suelo contenido en el cilindro se deposita en bolsas plásticas que sean posibles de cerrar herméticamente (Fig. 14.4).



Figura 14.4. Recolecta en el campo de la mesofauna del suelo a través del uso del cilindro o nucleador de metal.

Este método ha sido utilizado comúnmente en Cuba, aunque algunos autores explican la eficacia de extraer muestras compuestas de suelo, donde una muestra compuesta contiene varios núcleos o cilindros de suelo, en cada punto de recolección (Huising *et al.*, 2012; Karyanto *et al.*, 2012). Estos autores también exponen la importancia de combinar las metodologías del nucleador y de trampas de caída (descritas en el acápite siguiente de macrofauna) para obtener la mesofauna del suelo. Además, especificaron que las trampas de caída son convenientes en la captura de los colémbolos de la superficie del suelo, que se concentran en el contenido líquido de las trampas; y la metodología del nucleador es útil en la recolección de los ácaros oribátidos, los cuales son dominantes en los horizontes orgánicos de la mayoría de los suelos.

Si se estudian diversos sistemas de uso de la tierra a la vez, es imprescindible colocar una etiqueta, escrita a lápiz, en cada bolsa con datos como la localidad y fecha de muestreo, tipo de sistema, estrato o profundidad de la recolección y colector.

EQUIPAMIENTO. Cintas marcadores para señalar los transectos, cilindro de metal, martillo u otro instrumento que permita el enterramiento del cilindro, un cuchillo o pala pequeña que pueden ser útiles para ayudar en la extracción del cilindro del suelo, bolsas plásticas con cierre para almacenar el suelo extraído, ligas para asegurar el cierre de las bolsas, papel y lápiz para la confección de las etiquetas.

PROCESAMIENTO EN EL LABORATORIO PARA EXTRAER LA MESOFAUNA. La extracción de la mesofauna de las muestras de suelo se realiza en el laboratorio a través de los embudos Berlese-Tullgren (Karyanto *et al.*, 2012). Los embudos se pueden confeccionar de metal, plástico, cartulina o vidrio, todos los materiales lisos para evitar que los animales queden retenidos durante su captura en cualquier oquedad o rugosidad; y también tener una abertura en el extremo inferior para permitir la caída de los especímenes. Las muestras de suelo se colocan en los embudos sobre una rejilla o tamiz de 1,5 a 2 mm de ancho de poro, pero no directamente, sino aisladas por una tela de malla. El suelo se dispersa sobre la malla de forma que no exceda 1 cm de grosor.

Las muestras de suelo se deben mantener en los embudos entre cinco y siete días y se someten a una fuente de luz y calor, la cual se ubica encima de los embudos y debajo de estos se coloca un frasco recolector sin tapa y con la mitad o más de alcohol etílico al 70 o 75 %, donde caerán los diferentes organismos (Fig. 14.5). Es conveniente la iluminación de 25 °C hasta 40 °C. Los organismos ante la fuente de luz y calor se escabullen y descienden al frasco, debido a su comportamiento de fototaxismo negativo (huyen de la luz) y geotaxismo positivo (responden al incremento de temperatura o sequedad en el suelo migrando hacia abajo). Los embudos, además, se deben confeccionar del mismo tamaño y contarse con la cantidad precisa según el número de muestras a procesarse.

Una transformación del método (Berlese modificado), puede ser el uso de los embudos sin fuente de luz, sometiendo el proceso de ca-



Figura 14.5. Método de extracción de la mesofauna del suelo mediante los embudos Berlese-Tullgren.

lentamiento-secado a temperatura ambiente en un rango de tiempo de 7 a 14 días, variante que ha sido la más utilizada en Cuba. Para los procesos de aclarado y montaje de los especímenes también se recomienda el capítulo citado de Karyanto *et al.* (2012), incluido en el último manual de biología de suelos tropicales (Moreira *et al.*, 2012).

DESVENTAJAS Y VENTAJAS. El método de los embudos Berlese-Tullgren no garantiza la extracción total de la mesofauna. Es por ello que es importante respetar el espesor de la muestra antes comentado (no exceder de 1 cm), para obtener un buen rendimiento de la mesofauna que cae en los frascos recolectores. Existen muchos animales que tienen poca movilidad y no logran atravesar toda la muestra de suelo durante el proceso de extracción, quedando atrapados o huyendo a otro lugar. Por otro lado, está la posibilidad de que la desecación sea muy brusca y los individuos queden inmovilizados en los terrones de suelo. No obstante, André *et al.* (2002) reportaron que el sistema Berlese-Tullgren, es uno de los más usuales y eficaces para la extracción y evaluación de la diversidad y densidad de los microartrópodos del suelo. Por otra parte, el equipo completo requerido es barato, puede ser fácilmente improvisado, moverse con relativa facilidad y ser ajustado para acomodar un gran número de muestras.

EQUIPAMIENTO. Se requiere de cartulina, plástico o metal, preferiblemente, para confeccionar los embudos; soportes universales para sostener los embudos; tela de malla; rejilla o tamiz de 1,5 a 2 mm de ancho de poro; pequeños frascos plásticos o de vidrio que

funcionen como recolectores; alcohol etílico preparado al 70 o 75 % que funcionará como líquido conservante de la mesofauna recolectada. Teniendo en cuenta las experiencias de trabajo en Cuba, se recomienda como fuente de luz y calor, el uso de bombillos hasta 25 W o lámparas de luz fría (fluorescente) de 20 W.

MACROFAUNA

Para la macrofauna del suelo serán descritos de forma general dos métodos, uno estándar consistente en la apertura de monolitos de suelo, y otro complementario a través del uso de trampas de caída libre o *pitfall* que permitirán la recolecta de la mayoría de los grupos macrofaunísticos. También serán mencionados muy brevemente, algunos métodos específicos para la recolecta de grupos con importancia funcional en el suelo. Estos últimos pueden ser utilizados si existe un interés de estudio más exhaustivo en las comunidades de los grupos que se detallan. La mayoría de los procedimientos referidos se reúnen y profundizan en el manual antes sugerido y más actual sobre biología de suelos tropicales (Moreira *et al.*, 2012).

RECOLECTA POR TRANSECTO LINEAL. Anderson e Ingram (1993) propusieron, en el marco del Programa Internacional sobre Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF), el método estándar del transecto lineal. Esta metodología describe la extracción de 8 a 10 monolitos de 25 × 25 × 30 cm de profundidad, distribuidos cada 5 m en un transecto diagonal con origen y dirección al azar dentro de un ecosistema.

El procedimiento consiste en la delimitación inicial del cuadrante de 25 × 25 cm, y para ello se puede utilizar un marco o simplemente se marca con el auxilio de una lienza. Una vez marcado el monolito, se comienza a abrir y perfilar por los bordes, para lo cual es recomendado el uso de una coa, pues con este instrumento se simplifica el trabajo de perforación del monolito y se daña menos la fauna durante su extracción. Se saca el contenido de suelo y se deposita en bandejas plásticas grandes o en una manta de polietileno, para

revisar en el campo y recolectar manualmente todos los organismos visibles con la ayuda de pinzas suaves y pinceles (Fig. 14.6).

La macrofauna extraída se coloca en frascos pequeños o medianos, preferiblemente de plástico y con tapas. Los frascos deben contener formaldehído al 4 % para conservar las lombrices de tierra y alcohol etílico al 70 - 75 % para preservar el resto de los organismos. Cada recipiente con una cantidad suficiente que cubra los organismos recolectados, e identificado con una etiqueta añadida, escrita a lápiz y que refiera el monolito de estudio correspondiente y demás datos de recolecta (lugar, fecha, tipo de ecosistema). Una vez que se revisa todo el volumen de suelo, este se deberá incorporar nuevamente en el cuadrante abierto. Si los intereses de estudio contemplan la distribución vertical de la fauna, el monolito se puede separar y examinar por estratos, se revisan las capas de 0 - 10, 10 - 20 y 20 - 30 cm. La hojarasca superficial se puede incluir en el estrato de 0 - 10 cm, o se puede reconocer como un estrato independiente.

Lavelle *et al.* (2003) recomendaron incrementar la distancia entre monolitos en al menos 20 m, debido a la autocorrelación detectada entre los puntos de muestreo distanciados en 5 m. Esta modificación partió de la fuerte distribución agregada de los invertebrados edáficos debido a las condiciones heterogéneas del suelo, lo que resultó en una alta varianza entre muestras. Actualmente se exhorta al estudio de 10 monolitos, 5 como mínimo, distanciados en 20 m o más, a lo largo de un transecto, por réplica de uso de la tierra.

DESVENTAJAS Y VENTAJAS. Este método tiene desventajas respecto a la recolecta de los invertebrados más pequeños y móviles, que no se detectan ni capturan con rapidez. También lo reducido de las muestras, a veces subestima los organismos mayores de 25 cm de longitud, dígase algunas lombrices de tierra u otras especies grandes detritívoras pero que viven en la hojarasca, como los milpiés del género *Rhinocricus*, conocidos como mancarperros, gusanos meones o cocosis, que son cortados al preparar el monolito.



Figura 14.6. Recolecta en el campo de la macrofauna del suelo mediante el método estándar del TSBF o monolitos de suelo.

Por otro lado, la estimación de la macrofauna se puede encontrar afectada por la variabilidad espacial de estos organismos, tanto por su distribución horizontal parcheada o agregada, debido a variaciones edáficas, como por su distribución vertical y descenso a profundidades mayores de 30 cm en la época de sequía, lo que no es totalmente considerado dentro del método del transecto lineal. Por estas razones es aconsejable el uso de métodos complementarios, fundamentalmente si los objetivos de estudio son inventarios más completos de la biodiversidad edáfica.

La gran ventaja del método estándar del TSBF, del transecto lineal o de los monolitos de suelo, radica en la posibilidad de comparar un gran número de ecosistemas y localidades de forma relativamente fácil y rápida (Brown *et al.*, 2001) y de estimar la abundancia y diversidad de aquellos macroinvertebrados menos móviles, con mayor permanencia en el interior del suelo y actividad fundamentalmente diurna, entre ellos las lombrices de tierra, los caracoles, las cochinillas, los milpiés, los ciempiés y algunos insectos como las termitas y las larvas de escarabajos y lepidópteros.

En algunas investigaciones en Cuba, en dependencia de la naturaleza y extensión del lugar, en vez de marcar un solo transecto diagonal, se han establecido hasta tres transectos paralelos. En cada uno de ellos se han muestreado dos monolitos de suelo, ambos, transectos y monolitos separados en 50 m, para el estudio de seis monolitos en total por área o réplica de uso de la tierra. Se ha utilizado, además, un tiempo estándar de aproximadamente 45 min entre dos personas por monolito, tratando de homogeneizar el esfuerzo de muestreo y capturar la mayor cantidad de fauna contenida en el volumen de suelo extraído. El número de transectos y monolitos examinados, el distanciamiento entre ellos y el tiempo de muestreo empleado, han posibilitado recolectar una proporción significativa de la macrofauna y abarcar una mayor complejidad del hábitat, para detectar posibles diferencias entre los sistemas en estudio. En cuanto a la perforación del monolito, en la metodología original este se delimita

cavando una zanja a su alrededor, de forma que queda aislado y sin perturbación para su revisión. En el país se ejecuta una variante de este aspecto, pues el monolito se abre directamente (Fig. 14.6), en aras de utilizar menos tiempo y personal en el muestreo.

EQUIPAMIENTO. Cinta métrica de al menos 50 m y cintas de colores utilizadas en el marcaje de los transectos, machete para eliminar la vegetación herbácea, lienzo o cuadrante de madera para marcar el monolito en el suelo, coa para abrir el monolito, bandejas plásticas grandes o nylon de polietileno para desplegar el suelo extraído y proceder a su revisión, palas pequeñas que pueden utilizarse para sacar el suelo, pinceles y pinzas suaves para recolectar los animales, frascos medianos plásticos y con tapas donde se depositará la fauna capturada, formol 4 % y alcohol 70 % como líquido conservante, papel y lápiz para confeccionar las etiquetas.

RECOLECTA MEDIANTE TRAMPAS DE CAÍDA O PITFALL. Las trampas de caída resultan útiles y muy efectivas en la recolección de los invertebrados que viven en la hojarasca, y se basan en envases profundos, por ejemplo: vasos o botellas de plástico de tamaño mediano, que se entierran en el suelo justo hasta su borde superior (Bignell *et al.*, 2012).

Se comienza abriendo un hueco en el suelo, acorde al tamaño del recipiente trampa, con auxilio de una pala pequeña o de la misma coa utilizada en el procedimiento de los monolitos. El hueco se abre hasta que sea posible enterrar el recipiente a ras del suelo. Se coloca la trampa en el hoyo y los lados vacíos se llenan de tierra procedente de la excavación y se aplana esta tierra con cuidado para mantener el mismo nivel que el borde de la trampa. El suelo que cae en el interior de la trampa se debe extraer a mano. En Cuba se han utilizado comúnmente los potes plásticos de helado como recipientes, enterrándose dos juntos, uno dentro de otro. La tierra de los bordes cae dentro del pote superior, el cual es seguidamente extraído, dejando el inferior limpio de tierra. Posteriormente se llena la trampa, hasta alrededor de $\frac{1}{4}$ de su capacidad, con

agua, una cucharadita de sal y un poquito de detergente, todo lo cual funcionará como líquido conservador de los invertebrados que caen en la trampa. El detergente, en específico, romperá la tensión superficial del líquido y facilitará la inmovilización y la caída de los organismos al fondo.

Por último, es necesario colocar techos sobre las trampas a una altura de 2,5 cm de su borde, para evitar la pérdida de su contenido, debido a la incidencia de las lluvias. Para esto, se entierran en el suelo y alrededor de la trampa tres soportes, que pueden ser palos finos de madera o procedentes de las ramas de la vegetación del lugar, y en ellos se inserta el techo. El techo puede estar confeccionado de una lámina plástica (e. g. placas radiográficas, platos plásticos desechables), de un diámetro mayor al borde superior de la trampa. El techo, además, debe ser opaco, sin colores vistosos, para evitar un efecto invernadero dentro de la trampa y para que no atraiga insectos voladores, ajenos a la fauna del suelo.

Si existe un marcado interés en la captura de grupos funcionales específicos dentro de la fauna edáfica, es aconsejable el uso de cebos en las trampas. Como cebos pueden utilizarse principalmente: pescado para atraer la fauna carnívora o depredadora, frutas si el interés es la macrofauna detritívora y heces (humana o de algún tipo de ganado) si se desea una mayor incidencia de especies coprófagas. El cebo se debe colocar de forma suspendida y

siempre separado del líquido conservador, en un pequeño envase o envuelto en una tela muy fina, agarrado de un soporte de madera o rama, e instalado sobre el borde superior de la trampa (Fig. 14.7).

El tiempo de exposición de las trampas en el campo puede variar entre 24, 48 o 72 hrs y el número recomendado es de 3 a 5 trampas, asociadas al monolito de suelo abierto o por punto de muestreo, en un área determinada o ecosistema. Para extraer la fauna recolectada en los recipientes, se retira el techo y se levanta el cebo, si lo contiene. También se eliminan los elementos grandes, tales como hojas, palitos, animales vertebrados, etc. que hayan caído en la trampa. Se agita suavemente el contenido restante del recipiente para levantar los especímenes del fondo y se deposita en un frasco mediano o bolsa plástica con cierre. Para cada trampa corresponde un frasco recolector o bolsa plástica, con su respectiva etiqueta de datos.

En Cuba, una variante de estudio aplicando las trampas de caída, ha sido dentro de los tres transectos delimitados para el muestreo de los monolitos, marcar dos parcelas de 5 × 5 m distanciadas en 50 m. Dentro de cada parcela, considerada una unidad de muestreo, realizar el monolito de suelo y ubicar cuatro trampas esquinadas, para un total de 24 trampas, expuestas durante 48 hr en un ecosistema (Fig. 14.8).

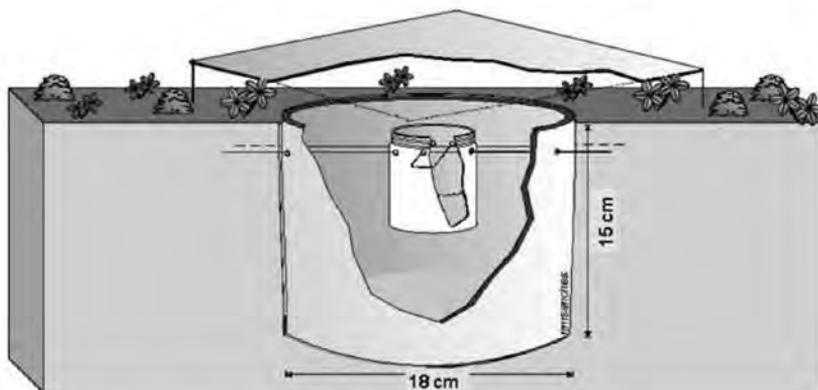


Figura 14.7. Esquema de una trampa de caída con cebo, tomado de Bignell *et al.* (2012).

DESVENTAJAS Y VENTAJAS. Las trampas de caída son proclives a sufrir daños ocasionados por mamíferos y aves, al igual que a actos de vandalismo, por lo que se puede perder la información de las que son retiradas del campo, por estas razones. Por otra parte, la obtención de datos de densidad y biomasa poblacional se encuentra limitado, ya que es imposible su estimación para un área de muestreo determinada; sin embargo, son aplicables para hallar la abundancia total y el número de especies dentro de un ecosistema. También concentran su acción en los grupos taxonómicos con características de mayor movilidad y de actividad principalmente nocturna, como son la mayoría de

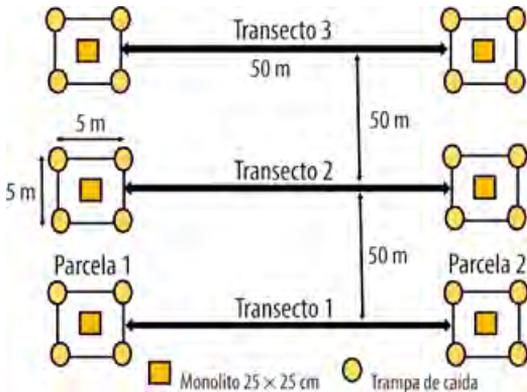


Figura 14.8. Esquema de muestreo de la macrofauna del suelo mediante monolitos y trampas de caída.

los escarabajos, las hormigas, los arácnidos, los grillos y las cucarachas. Las trampas de caída son muy útiles en áreas con un estrato herbáceo denso, donde la detección visual de los organismos es difícil. Algunos autores defienden el uso de estas trampas, pues son baratas, de fácil instalación y posibilitan los inventarios de los macroinvertebrados de la hojarasca, con relativamente poca inversión de tiempo y esfuerzo, en comparación con métodos absolutos de muestreo (Lietti *et al.*, 2008; Bignell *et al.*, 2012).

EQUIPAMIENTO. Cintas de colores, necesarias para marcar las parcelas y la posición de las trampas. Pala pequeña para perforar los sitios donde se ubicarán las trampas. Como

trampas de caída, usar recipientes plásticos suficientemente amplios para recolectar un número razonable de especímenes y profundos para impedir su fuga, entre 10-18 cm de ancho y 12-15 cm de profundidad. Láminas plásticas usadas para los techos, que pueden ser de 20 cm de diámetro, siempre mayores que el diámetro del borde superior del recipiente trampa. Clavos de madera de no más de seis pulgadas, como posibles soportes de los techos. Agua disponible, detergente líquido no perfumado y sal para preservar los especímenes. Frascos medianos o bolsas plásticas con cierre, para verter el contenido de las trampas. Etiquetas y lápiz para plasmar los datos de recolecta (localidad, fecha, tipo de ecosistema, número de la parcela y de la trampa).

OTROS MÉTODOS ESPECÍFICOS DE RECOLECTA

LOMBRICES DE TIERRA

En el mismo transecto marcado para la extracción de los cuadrantes de suelo de 25×25 cm, se pueden estudiar otros tres cuadrantes alternativos de mayor área. Para el estudio de la diversidad y abundancia de las lombrices de tierra, se recomienda abrir al menos tres monolitos de 50×50 cm y hasta solo 20 cm de profundidad, intercalados entre los otros monolitos de menor tamaño. En este caso el muestreo se restringe a los 20 cm de profundidad ya que los especímenes se concentran hasta este nivel durante la temporada de lluvias (Bignell *et al.*, 2012). La perforación del monolito, la recolección y la conservación de las lombrices de tierra, así como el equipamiento necesario, son similares a los descritos en el método estándar del TSBF.

MILPIÉS Y CIEMPIÉS

Los métodos utilizados para el estudio de la composición, la distribución vertical y la dinámica de la abundancia y la biomasa de los milpiés en Cuba han sido principalmente las trampas de caída, los monolitos (con diferentes medidas) y los cuadrantes de 1×1 m. En los últimos 15 años, profesores y estudiantes de la Facultad de Biología de la Universidad

de La Habana obtuvieron buenos resultados, utilizando la metodología del TSBF explicada en este capítulo, para el estudio de la distribución vertical. Este método es muy informativo también para los ciempiés geofilomorfos, que viven mayormente en el interior del suelo. Para investigar la composición, densidad, abundancia y biomasa, especialmente de milpiés y ciempiés escolopendromorfos, han demostrado ser muy útiles las parcelas de 1×1 m, donde se recolectan de manera directa los ejemplares de la hojarasca, la superficie del suelo, dentro y bajo troncos y bajo piedras sueltas o semienterradas. La cantidad de transectos y de parcelas por transecto son flexibles, pero se recomienda que la separación entre parcelas sea de al menos 5 m.

En el caso de los diplópodos mancaperos, los datos de número y biomasa de los adultos se toman en el campo, para evitar sacrificarlos. El pesaje se realiza introduciendo todos los individuos de la parcela o tantos como sea posible dentro de una bolsa de nylon y pesándolos de conjunto. Se anota el peso y el número de individuos, y luego se liberan. Otro método usado en el estudio de los milpiés han sido las trampas madrigueras. Constituyen tablas de $20 \times 20 \times 1$ cm que se colocan en la interfase hojarasca-suelo, con la finalidad de que los organismos que prefieren ambientes húmedos y oscuros se concentren bajo ellas.

En específico, el método de parcelas puede ser insuficiente para los ciempiés escolopendromorfos, que se encuentran en menores densidades por ser depredadores, y cuya abundancia en la superficie del suelo está fuertemente influida por la disponibilidad de refugios sólidos bajo los cuales ocultarse, como piedras, cortezas y troncos. Para este grupo se han empleado con éxito parcelas rectangulares de 10×2 m (modificado de Druce *et al.*, 2004), que deben utilizarse en número de 10 o más, por lo que el esfuerzo de recolecta puede llegar a ser considerable.

EQUIPAMIENTO. Pinzas, frascos y etiquetas como los descritos anteriormente. En el caso de los mancaperos, bolsas de nylon y balanza de mano. Las parcelas de 1×1 m se delimitan

con ramas rectas medidas y cortadas al efecto. Las parcelas de 10×2 m se pueden delimitar con una soga fina amarrada a estacas o troncos a unos 20 cm del suelo, a la cual se pueden añadir cintas de colores para hacerla más visible.

TERMITAS

En cada ecosistema de estudio, se delimitará un transecto cercano al monolito estándar, de 100 m de largo y 2 m de ancho. El transecto se divide en secciones o parcelas de 5×2 m y en ellas se buscarán las termitas en diferentes microsítios (Jones y Eggleton, 2000; Bignell *et al.*, 2012).

Para el estudio solamente de las comunidades de termitas, el procedimiento es establecer entre tres y seis transectos de 65 m de largo y 2 m de ancho, distanciados de 50 a 200 m. En cada transecto serán muestreadas cinco parcelas de 5×2 m, con una distancia de 10 m entre ellas dentro del mismo transecto (Canello, 2002). En las parcelas de 10 m^2 definidas en el transecto estándar o en los descritos posteriormente, los microsítios o microhábitats que se explorarán son: en y bajo troncos caídos, bajo corteza, bajo piedras, en troncos muertos en pie, en la base de los árboles, en nidos sobre suelo, en nidos arbóreos establecidos hasta 2 m de altura, en hojarasca y en suelo. El esfuerzo de muestreo empleado en la parcela será de una hora/recolector. Los individuos (de ser posible de 15 a 20 ejemplares de cada casta) se recolectarán de forma directa utilizando pinzas suaves y pinceles y serán preservados en alcohol etílico al 75 u 80 %. El equipamiento necesario para este tipo de muestreo, coincide con los expuestos en los métodos generales de recolecta. Las parcelas de 5×2 m se pueden marcar en el campo según se explica en el muestreo de milpiés y ciempiés.

MÉTODOS DE PRESERVACIÓN

En el laboratorio se procede a la limpieza de las muestras obtenidas mediante los monolitos de suelo, en las trampas de caída o a través de los otros métodos específicos de recolecta.

Es imprescindible eliminar terrones pequeños de suelo que hayan podido caer durante el momento de la recolecta y limpiar la fauna con el auxilio de pinceles, todo para facilitar la manipulación y ulterior identificación de los macroinvertebrados. Las muestras provenientes de las trampas de caída, deben enjuagarse con abundante agua con el fin de remover la sal, el detergente y la tierra u otra basura orgánica. El lavado de ejemplares en agua fresca es esencial ya que el detergente y la suciedad forman una película sobre los animales, que será imposible de retirar si se les introduce directamente en alcohol y dificultará su visibilidad bajo el microscopio. Una vez limpias, a las muestras se les añade nuevo líquido para su conservación, formol 4 % para las lombrices de tierra y alcohol 70 o 75 % para el resto de la fauna (Bignell *et al.*, 2012).

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FAUNA EDÁFICA

Tanto la mesofauna como la macrofauna recolectada se someterán a la identificación hasta el nivel taxonómico más bajo posible y además se separarán en los diferentes grupos funcionales, según los criterios de Zerbino *et al.* (2008), Swift *et al.* (2012) y Barnes *et al.* (2014). Para la identificación taxonómica de la mesofauna y la macrofauna hasta la categoría de clase u orden, se sugiere la revisión de los Anexos 1 y 2 de este capítulo. También se recomienda el manual elaborado por Ruiz *et al.* (2008), que contiene una clave ilustrada con fotos, para clasificar los diferentes órdenes que componen la macrofauna del suelo. Sin embargo, si se desea un trabajo taxonómico más detallado, hasta nivel de familias y géneros, se indica la siguiente literatura para algunos grupos de la mesofauna y la macrofauna del suelo: ácaros (Krantz, 2009), colémbolos (Palacios, 1990, 1991), lombrices de tierra (Righi, 1971, 1995; Fragoso y Rojas-Fernández, 1994; Rodríguez, 1999; Blakemore, 2002, 2005), cochinillas (Armas y Juarrero, 1999; Juarrero y Armas, 2003 a y b), milpiés (Hoffman *et al.*, 1996; Bueno-Villegas *et al.*, 2004), ciempiés (Matic *et al.*, 1977; Würmli y Negría, 1977), termitas (Constantino, 2002;

Cabrera y Hernández, 2008) y cucarachas (Gutiérrez, 1995; Roth, 2003).

En la identificación de la fauna del suelo, se sugiere en ocasiones la separación en morfoespecies o unidades taxonómicas reconocidas que agrupen organismos con un mismo papel ecológico, cuando la identificación hasta el nivel de especie no es posible (Lavelle *et al.*, 2003). Otros autores defienden el trabajo a nivel superior de órdenes y familias para el conocimiento inicial de la respuesta de las comunidades del suelo ante diferentes usos de la tierra. Ellos argumentan que la riqueza específica contribuye poco a comprender aspectos funcionales del ecosistema y que es una medida redundante cuando especies diferentes comparten la misma función en el suelo (Villalobos *et al.*, 2000); otros mencionan que el análisis de táxones superiores tiene un valor más operativo y un grado mayor de generalidad (Bedano *et al.*, 2001).

Una vez identificadas la meso y la macrofauna, se procede al conteo del número de individuos, con el cual se estimará la densidad poblacional, expresada en ind./m². Para la macrofauna del suelo, también se deben pesar los individuos (peso húmedo), que dará lugar a la biomasa, representada en g/m². Tanto la densidad como la biomasa, se pueden determinar para la fauna total, para cada taxon y grupo funcional. Para el cálculo de la densidad de la mesofauna, la cantidad de individuos encontrados en cada muestra representativa de un cilindro de 5 × 10 cm, se multiplicará por el número constante = 509,16, con lo cual se obtendrá la cantidad de mesofauna contenida en 1 m². Para hallar igualmente la densidad y la biomasa de la macrofauna correspondiente a un monolito de suelo de 25 × 25 cm, la cantidad y el peso de los individuos se multiplicarán, en este caso, por el número constante = 16. La estimación de la biomasa resulta importante ya que muchos procesos del ecosistema son proporcionales a esta variable más que al número de individuos, y porque denota más claramente la influencia de la macrofauna sobre la transformación de las propiedades físicas

y químicas de un suelo y en la productividad vegetal (Bignell *et al.*, 2012).

Para el caso de los insectos sociales (*e. g.* hormigas y termitas) recolectados mediante el método de los monolitos, la abundancia se estima contando cada uno de los individuos encontrados, igual que se determina para el resto de los grupos. Si se realiza un estudio particular de las comunidades de termitas utilizando el método de los transectos, entonces la abundancia relativa de estos insectos se estimará a partir del número de encuentros o colonias de la especie en el transecto. Los individuos de una especie recolectados más de una vez en la misma parcela serán considerados como una sola colonia (Jones, 2000).

Entre las formas o vías de análisis de la abundancia y dominancia de los diferentes grupos de la macrofauna y por ende de su importancia dentro del ecosistema, se sugiere también determinar el *porcentaje de dominancia combinada* (PDC), propuesto por Jesús *et al.* (1981). Este índice ha sido utilizado en estudios ecológicos en Cuba, específicamente para las comunidades de macroinvertebrados edáficos y ha proporcionado resultados certeros, ya que combina la frecuencia de aparición de los grupos, su abundancia y biomasa. El cálculo del PDC involucra el *porcentaje de presencia* (PP), que se obtiene de dividir el número de parcelas en las que apareció el taxon entre el total de parcelas en estudio, su *porcentaje de abundancia* (PI) que se determina a partir de la división del número de individuos de ese grupo entre el total de individuos recolectados, y su *porcentaje de peso* (PPE) que se halla igualmente al dividir su peso entre el peso total de todos los organismos capturados. Los tres porcentajes se calculan para el taxon (cualquier nivel taxonómico) en cada ecosistema, y se fusionan en la siguiente fórmula:

$$PDC = \frac{(PP \times 100 / \Sigma PP) + PI + PPE}{3}$$

Donde: ΣPP es la suma de los porcentajes de presencia de todos los grupos. El valor del PDC es adimensional, y valores más altos re-

presentan una mayor dominancia e importancia del taxon en el ecosistema.

EQUIPAMIENTO. Para una detallada observación y conteo de los individuos pertenecientes a la meso y la macrofauna, es necesario disponer de un microscopio estereoscópico con aumento de al menos 5×; así como de pinceles, pinzas suaves, agujas enmangadas, vidrios reloj y placas de Petri, para una fácil manipulación e identificación de los ejemplares. Para pesar los diferentes individuos de la macrofauna, se debe contar con una balanza digital analítica de precisión 0,0001 g y abundante papel de filtro que será de utilidad en el secado de los animales antes de proceder a su pesaje.

ÉPOCA Y HORARIO PARA LA RECOLECTA DE LA FAUNA EDÁFICA

El horario ideal de muestreo es en las mañanas, entre 7:00 am y 12:00 am, cuando todavía se mantiene un estado favorable de temperatura y humedad para la permanencia de esta fauna. El horario de la tarde no es idóneo debido a las temperaturas más elevadas y la consecuente migración de la mayoría de los invertebrados edáficos a estratos profundos del suelo; sobre todo en los ecosistemas sin árboles o con pobre cobertura vegetal, donde ocurren por lo general cambios bruscos de temperatura y humedad en el medio edáfico. La temporada adecuada es el final de la época de lluvias (septiembre u octubre en Cuba), cuando existe una mayor actividad y abundancia de la fauna en el suelo (Tondoh y Lavelle, 2005; Huising *et al.*, 2012). Debido a la alta concentración de agua durante esta estación, la fauna edáfica se beneficia en cuanto a su movilidad, respiración, reproducción y alimentación. En dependencia de los objetivos de investigación, por ejemplo, si se desea establecer patrones de distribución edáfica, es recomendable el estudio solo en la época de lluvias, con la posibilidad de repetirlo durante dos o tres años consecutivos. En caso que el estudio contemple el conocimiento de la variabilidad temporal de la fauna, debe concebirse la toma de muestras también en la

época de seca, con la posibilidad de repetirlo al menos dos años en ambas estaciones.

ASPECTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL MUESTREO DE LA FAUNA EDÁFICA

Los métodos de recolecta descritos, pueden ser aplicados en cualquier sistema con diferente uso del suelo, de modo que es posible evaluar el impacto que provoca la intensificación agrícola, la fragmentación del hábitat y el manejo de los cultivos sobre la diversidad biológica del suelo.

Para cumplimentar estos propósitos con relación a la biodiversidad edáfica, la literatura especializada refiere como diseño experimental más apropiado un muestreo estratificado y sistemático. El enfoque de estratificación se basa en el estudio de diferentes áreas bajo un determinado uso del suelo, las que constituirán los estratos o réplicas verdaderas del estudio. Es decir, si se quiere conocer la variación de la fauna edáfica por influencia del uso, intensidad y manejo del suelo entre bosques, pastizales y cultivos se deberán estudiar varias áreas o estratos de bosques, varios pastizales y varios cultivos, cada categoría con características similares, para asegurar un tamaño de muestra representativo. En la definición del tamaño de muestra influye la gran variabilidad de la fauna edáfica como consecuencia de las diferenciaciones en las prácticas agrícolas o forestales, historias de uso, cambios de la vegetación sobre el suelo; lo que podría reducirse ante este enfoque de estratificación. Entre otros requisitos fundamentales en la valoración del tamaño de muestra, se deben incluir los objetivos y la totalidad de la región en estudio.

Por otra parte, según las metodologías definidas para la recolecta de la edafofauna, estas se ajustan a un diseño sistemático porque explican la localización de los puntos de muestreo a una distancia fija entre sí que asegura independencia entre ellos, la estimación del tiempo requerido para muestrear un número fijo de puntos, etc. Un tipo de diseño estratificado y sistemático suficientemente robusto, con las réplicas adecuadas e igual esfuerzo de

muestreo, además posibilita que los insectos sociales (*e. g.* hormigas y termitas) puedan evaluarse en cuanto a su abundancia y biomasa de manera similar a los restantes grupos de la macrofauna, sin necesidad de excluirlos, si se toma en cuenta su impacto ecológico en el medio edáfico. Otras particularidades y aspectos más profundos sobre el diseño y las estrategias de muestreo para la evaluación de la biodiversidad del suelo, se pueden encontrar en Huising *et al.* (2012).

DATOS AMBIENTALES REQUERIDOS PARA RELACIONAR CON LA FAUNA EDÁFICA

- * Tipo e historia de uso de la tierra
- * Prácticas actuales de manejo del suelo y de los cultivos
- * Características de la vegetación
- * Temperatura y humedad del suelo y la hojarasca.
- * Propiedades físicas y químicas del suelo: Densidad aparente, capacidad máxima de retención de agua, pH, contenido de materia orgánica y nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal.
- * Datos climáticos de precipitación y temperatura en la región de estudio, antes y en el momento del muestreo.

INDICADORES DE LA FAUNA EDÁFICA PARA EL MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DEL SUELO

Se aconseja el uso de los siguientes indicadores:

1. ÍNDICES ORIBÁTIDOS/ASTIGMADOS, DETRITÍVOROS/RECOLONIZADORES Y DETRITÍVOROS/NO DETRITÍVOROS. Los dos primeros aplicables solo para la mesofauna y el último tanto para la meso- como para la macrofauna del suelo.

Un mayor número de oribátidos y de individuos detritívoros (numeradores en las relaciones) contra un menor número de astigmados, recolonizadores e individuos no detritívoros (denominadores en las relaciones), mostrará como resultado de la división valores mayores que 1, lo que podría apuntar hacia sistemas con mejores condiciones

edáficas de fertilidad. De modo inverso, un menor número de individuos de los grupos que son numeradores en las relaciones contra un mayor número de los grupos denominadores, mostrará como resultado de la división valores entre 0 y 1, y mientras más cercanos a 0, podría indicar sistemas con menor calidad del suelo o perturbados.

2. *RELACIÓN ÁREA TRANSFORMADA/ÁREA DE ORIGEN*, para cualquier grupo faunístico de la meso- y la macrofauna edáfica. Para la utilización de este índice se debe contar con un área natural de referencia y tener en cuenta lo que indica el grupo que se escoja para tal aplicación.

Por ejemplo, si se usan los colémbolos o las lombrices de tierra, que son indicadores de fertilidad y estabilidad del medio edáfico, y estos tienen una abundancia similar o mayor en el área transformada con respecto al área de origen, la relación dará un valor cercano o por encima de 1, lo cual puede expresar que el ecosistema tiende a la rehabilitación por su acercamiento a las condiciones del área original. Un resultado contrario explicaría que el ecosistema aún no se recupera totalmente.

3. *CÁLCULO DEL ÍNDICE BIOLÓGICO DE CALIDAD DEL SUELO* o IBQS, para un hábitat, uso de la tierra o ecosistema. Es aplicable también para la mesofauna y la macrofauna del suelo.

Ruiz *et al.* (2011) diseñaron una fórmula para hallar este índice, que combina la abundancia de los invertebrados edáficos indicadores y sus valores indicadores o IndVal, en un hábitat, uso de la tierra o ecosistema. La fórmula genera valores que se clasifican en un rango de 1 a 20, donde 1 indica pobre o mala calidad del suelo y 20 buena o la más alta calidad. Otro análisis más simple, sería que los valores más altos de IBQS explicarían sistemas con mayor calidad del suelo y los más bajos, sistemas con la menor calidad.

$$IBQS = \sum_{i=1}^n [\ln(Di+1)/N/\ln(Di+1)max] \times Si$$

Donde, Di es la abundancia total del taxon indicador i , en un hábitat, uso de la tierra o ecosistema, Di_{max} es la abundancia total del taxon con el máximo valor indicador, N es el número total de muestras o sitios analizados y Si es el valor indicador del taxon i o $IndVal$ en el hábitat.

Valor Indicador de los táxones (IndVal)

Dufrêne y Legendre (1997) propusieron este método que permite identificar especies indicadores o táxones característicos de cada ambiente. Este valor es expresado en porcentaje y combina las medidas de especificidad (abundancia relativa en un hábitat) y fidelidad (frecuencia de aparición dentro del mismo hábitat) de una especie o taxon en un tipo de hábitat. Tiene un rango de 0 a 100, donde 0 significa ausencia de indicación y 100 indicación perfecta. Se considera que un taxon indicador o característico de un hábitat es aquel que tiene IndVal significativo y mayor de 70 %, o sea, son específicos de un hábitat y tienen una alta probabilidad de ser muestreados en el mismo hábitat durante el monitoreo. El método tiene como ventajas que es calculado independientemente para cada especie o taxon y no tiene restricciones en cuanto a la categorización de los hábitats, que pueden ser agrupados arbitrariamente.

El valor indicador del taxon i para el grupo de sitios del hábitat j (IndVal) se calcula:

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

$$Especificidad (A_{ij}) = \frac{N \text{ individuos}_{ij}}{N \text{ individuos}_i}$$

Donde N individuos ij es el número medio de individuos del taxon i con relación a todos los sitios de un mismo hábitat j , y N individuos i es la suma del número medio de individuos del taxon i de todos los hábitats estudiados.

$$Fidelidad (B_{ij}) = \frac{N \text{ sitios}_{ij}}{N \text{ sitios}_j}$$

Donde N sitios ij es el número de sitios del hábitat j donde apareció el taxon i , y N sitios j es el número total de sitios estudiados del hábitat j .

LITERATURA CITADA

- Anderson, J.M. y J.S.I. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. CAB International. Reino Unido. 221 pp.
- Andrés, P. 1990. Descomposición de la materia orgánica en dos ecosistemas forestales del mazo del Montseny (Barcelona): Papel de los ácaros oribátidos (Acarina, Oribatei). [Inédito]. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, 237 pp.
- André, H. M., X. Ducarme y Ph. Lebrun. 2002. Soil biodiversity: Myth, reality or conning?. *Oikos* 96: 3-24.
- Ares, J., M. Bertiller y S. H. del Valle. 2001. Funcional aere structural and scape indicators of intensification, resilience and resistance in agroecosystems in Southern Argentina based on remotely sensed data. *Landscape Ecology* 16: 221-234.
- Armas, L. F. de y A. Juarrero de Varona. 1999. Sistemática de la familia Delatorreidae (Isopoda: Oniscidea) en Cuba. *Avicennia* 10-11: 1-42.
- Barnes, A.D., M. Jochum, S. Mumme, N. F. Hanneda, A. Farajallah, T. H. Widarto, U. Brose. 2014. Consequences of tropical land use for multitrophic biodiversity and ecosystem functioning. *Nature Communications* 5: 5351.
- Barros, E., B. Pashanasi, R. Constantino y P. Lavelle. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils* 35 (5): 338.
- Bedano, J. C., M.P. Cantú y M. E. Doucet. 2001. La Utilización de Ácaros Edáficos como Indicadores de Calidad de Suelos en Agroecosistemas del Centro de Argentina. En: *Memorias del XV Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Suelo*. CD-Room.
- Bignell, D., R. Constantino, C. Csuzdi, A. Karyanto, S. Konaté, J. Louzada, F. Susilo, J. Tondoh y R. Zanetti. 2012. Capítulo 3. Macrofauna. Pp. 91-148. En: *Manual de Biología de Suelos Tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (F. Moreira, E. J. Huisin y D. E. Bignell. Eds.). Instituto Nacional de Ecología, México.
- Blakemore, R. J. 2002. Cosmopolitan Earthworms – an Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World. *VermEcology*. P.O. Box 414, Kippax, ACT 2615, Australia, 426pp.
- Blakemore, R. J. 2005. Introductory key to revised earthworm families of the world. En: *A Series of Searchable Texts on Earthworm Biodiversity, Ecology and Systematics from Various Regions of the World* (N.Kaneko y M.T. Ito, Eds.). Yokohama National University. Japan. Disponible en <http://www.bio-eco.eis.ynu.ac.jp/eng/index.htm>.
- Brown, G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J. C. Patrón, J. Bueno, A. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz y C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* 1: 79-110.
- Brusca, R. y G. Brusca. 2003. *Invertebrates*. Sinauer Associates. Sunderland. Massachusetts. USA. 936 pp.
- Bueno-Villegas, J., P. Sierwald y J. E. Bond. 2004. Capítulo 22. Diplopoda. En: *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México IV* (J. Llorente-Bousquets, J. J. Morrone, O. Y. Ordóñez y I. V. Fernández, Eds.). 569-599 pp.
- Cabrera Dávila, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes* 35 (4): 349-364.
- Cabrera Dávila, G., A. A. Socarrás, G. Hernández, D. Ponce de León, Y. I. Menéndez y J. A. Sánchez. 2017. Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud del suelo en siete sistemas de uso de la tierra en Cuba. *Pastos y Forrajes* 40 (2): 118-126.
- Cabrera Dávila, G. y A. Hernández. 2008. Conocimiento actual del orden Isoptera (Insecta) en Cuba. *Cocuyo* 17: 16-25.
- Cabrera Dávila, G., N. Robaina y D. Ponce de León. 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 (3): 331-346.
- Cabrera Dávila, G., N. Robaina y D. Ponce de León. 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 (3): 313-330.
- Cancello, E. M. 2002. Termite diversity along the Brazilian Atlantic forest. En: Proceedings of the XIV International Congress of IUSSI – The Golden Jubilee Proceedings, 27 July-3 August 2002, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 164 pp.
- Chávez Suárez, L., Y. Labrada Hernández y A. Álvarez Fonseca. 2016. Macrofauna del suelo en ecosistemas ganaderos de montaña en Guisa, Granma, Cuba. *Pastos y Forrajes* 39 (3): 111-115.
- Constantino, R. 2002. An illustrated key to Neotropical termite genera (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers. *Zootaxa* 67:1-40.

- De Vries, F.T., E. Thébault, M. Liiri, K. Birkhofer, M.A. Tsiafouli y L. Bjørnlund. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110: 14296–14301.
- Dokuchaev, V. V. 1899. *Sobre el estudio de las zonas de la Naturaleza. Zonas edáficas verticales*. Traducción y Prólogo de Fernando Ortega Sastriques. Edt. Científico-Técnica, La Habana.
- Dufrène, M. y P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67 (3):345.
- Druce, D., M. Hamer y R. Slotow. 2004. Sampling strategies for millipedes (Diplopoda), centipedes (Chilopoda) and scorpions (Scorpionida) in savanna habitats. *African Zoology* 39 (2): 293-304.
- Ferrás, H., A. Martell, A. A. Socarrás, M. Rodríguez, N. Ricardo y C. López. 2010. Paquete Informático de Bioindicadores. Informe final de Proyecto. [Inédito]. Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA, Cuba.
- Fragoso, C. y P. Rojas-Fernández. 1994. Earthworms from Southeastern Mexico. New Acanthodrilina genera and species (Megascolecidae, Oligochaeta). *Megadrilologica* 6: 1-12.
- Fragoso, C., P. Reyes-Castillo y P. Rojas. 2001. La importancia de la biota edáfica en México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) Número especial 1: 1-10.
- García, Y., W. Ramírez y S. Sánchez. 2014. Efecto de diferentes usos de la tierra en la composición y la abundancia de la macrofauna edáfica en la provincia Matanzas. *Pastos y Forrajes* 37 (3): 313-321.
- González, V. 2000. Mesofauna edáfica asociada al cultivo de caña de azúcar. [Inédito]. Tesis doctoral. Dpto. de Biología Animal y Humana. Facultad de Biología. Universidad de La Habana. La Habana. Cuba, 87 pp.
- González, R. y R. López. 1987. La macrofauna de la hojarasca y del suelo de algunos ecosistemas forestales de Cuba. *Reporte de Investigación, Instituto de Zoología* 46: 1-9.
- Gutiérrez, E. 1995. Annotated checklist of Cuban cockroaches. *Transactions of the American Entomological Society* 121(3): 65-84.
- Hernández, G., A.A. Socarrás, G. Cabrera Dávila, M. M. Alguacil, E. Torrecillas y A. Roldán. 2012. Impacto de la siembra de plantas con fines bioenergéticos sobre la biodiversidad edáfica. En: *La Producción de Biocombustibles y su Impacto Alimentario, Energético y Medio Ambiental* (A. Valdés y M.A. Vales, Eds.). Programa CYTED, Cuba. 51-77 pp.
- Hoffman, R.L., S.I. Golovatch, J. Adis y J.W de Morais. 1996. Practical keys to the orders and families of millipedes of the Neotropical region (Myriapoda: Diplopoda), *Amazoniana* 14 (1-2): 1-35.
- Huising, J., R. Coe, J. Cares, J. Louzada, J., R. Zanetti, F. Moreira, F. Susilo, S. Konate, M van Noordwijk y S. P. Huang. 2012. Capítulo 2. Diseño y Estrategias de muestreo para la evaluación de la biodiversidad del suelo. Pp. 53-90. En: *Manual de Biología de Suelos Tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (F. Moreira, E. J. Huising y D. E. Bignell, Eds.). Instituto Nacional de Ecología, México.
- Jesús, J. B., A. G. Moreno y D. J. Diaz Cosín. 1981. Lombrices de tierra de la Vega de Aranjuez (España) I. Asociaciones. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol* 18(4): 507-519.
- Jones, C.G., J.H. Lawton y M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- Jones, D. T. 2000. Termite assemblages in two distinct montane forest types at 1000 m elevation in the Maliau Basin, Sabah. *Journal of Tropical Ecology* 16: 271-286.
- Jones, D. T. y P. Eggleton. 2000. Sampling termite assemblages in tropical forests: testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of Applied Ecology* 37: 191-203.
- Juarrero de Varona, A. y L. F. de Armas. 2003a. Especie nueva de *Pseudarmadillo* (Isopoda: Oniscidea: Delatorreidae) de Cuba suroriental. *Solenodon* 2: 21-26.
- Juarrero de Varona, A. y L. F. de Armas. 2003b. A new species of terrestrial isopod (Oniscidea: Delatorreidae) from Cuba. *Avicennia* 16: 97-102.
- Karg, W. 1963. Die edaphischen Acarina in ihren Beziehungen zur Mikroflora und ihren Eignung als Anzciger für Prozesse der Bodenbildung. En: *Soil Organisms Amsterdam* (J. Doeksen y J. van der Drif, Eds.). North-Holland. Co. 305-315 pp.
- Karyanto, A., C. Rahmadi, E. Franklin, F. Susilo y J. W. de Morais. 2012. Capítulo 4. Collembola, acari y otra mesofauna del suelo: el método Berlese. Pp. 149-162. En: *Manual de Biología de Suelos Tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (F. Moreira, E. J. Huising y D. E. Bignell, Eds.). Instituto Nacional de Ecología, México.

- Krantz, G.W. 2009. *A manual of Acarology*. 2nd Ed. Oregon State University Book Stores. Corvallis. USA, 509 pp.
- Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. López- Hernández, B. Pashanasi y L. Brussaard. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. Pp. 137-170. En: *The Biological Management of Tropical Soil Fertility* (P.L.Woomer y M. J. Swift, Eds.). New York.
- Lavelle, P., B. Senapati y E. Barros. 2003. Soil Macrofauna. En: *Trees, Crops and Soil Fertility. Concepts and Research Methods* (G. Schroth y F.L. Sinclair, Eds.). CABF Publishing. UK. 303-323 pp.
- Lietti, M., J. C. Gamundi, G. Montero, A. Molinari y V. Bulacio. 2008. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la abundancia de artrópodos que habitan en el suelo. *Ecología Austral* 18:71
- Malagón, D., J. Sevink, I. Garay, R. Vis y E. La Marca. 1987. Manual of methods for transects studies. En: *Comparative studies of tropical mountains ecosystems* (D. Mueller-Dombois, M. Little y T. van der Hammen, Eds.). International Union of Biological Sciences - Decade of the Tropics, 66 pp.
- 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. Dpto. de Biología Animal. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. España.
- Matic, Z., S. T. Negrea y C. F. Martínez. 1977. Recherches sur les Chilopodes hypogés de Cuba. En: *Resúltats des expéditions biospeologiques Cubano- Roumaines á Cuba* (T. Orghidan, A. Núñez, V. Decou, S.T. Negrea y N. Viña, Eds.). Academie Republicii Socialista. Romania, 40 pp.
- McGeoch, M. A., B.J. van Rensburg y A. Botes. 2002. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *Journal of Applied Ecology* 39: 661-672.
- Moreira, F., E. J. Huising y D. E. Bignell. 2012. *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México, 337 pp.
- Palacios Vargas, J. G. 1990. *Manuales y Guías para el estudio de los microartópodos. I. Diagnósis y clave para determinar las familias de los Collembola de la Región Neotropical*. Facultad de Ciencias. UNAM, México, 15 pp.
- Palacios Vargas, J.G. 1991. *Manuales y Guías para el estudio de los microartópodos. II. Introducción a los insectos sin alas (Protura, Diplura, Collembola, Thysanura)*. Facultad de Ciencias. UNAM, México, 23 pp.
- Prieto, D y C. Rodríguez. 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, P. Río, Cuba. Análisis comparativo. *Revista Biología* 10: 27-35.
- Righi, G. 1971. Sobre a familia Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. *Arquivos de Zoologia* 20: 1-95
- Righi, G. 1995. Colombian earthworms, Studies on Tropical Andean. *Ecosystems* 4: 485-607
- Rodríguez, C. 1999. Lombrices de tierra (Oligochaeta: Moniligastrida y Haplotaxida) de Cuba. [Inédito]. Tesis doctoral. Dpto. de Biología Animal y Humana. Facultad de Biología. Universidad de La Habana, La Habana, 90 pp.
- Rodríguez, C. 2000. Comunidades de lombrices de tierra en ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Revista Biología* 14(2): 147-155.
- Rodríguez, I., G. Crespo, A. Morales, B. Calero y S. Fraga. 2011. Comportamiento de los indicadores biológicos del suelo en unidades lecheras. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 45 (2): 187-193.
- Roth, L. M. 2003. Systematics and phylogeny of cockroaches (Dictyoptera: Blattaria). *Oriental Insects* 37: 1-186.
- Ruiz, N., P. Lavelle y J. Jiménez. 2008. *Soil Macrofauna Field Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma, Italy, 100 pp.
- Ruiz, N., J. Mathieu, L. Célini, C. Rollard, G. Hommay, E. Iorio y P. Lavelle. 2011. IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 2032-2045.
- Socarrás, A. A. 2013. Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes* 36(1): 5-13.
- Socarrás, A. A. y M. E. Rodríguez. 2005. Variación de la mesofauna en la reactivación de áreas devastadas por la minería, Moa, Holguín. *Poeyana* 493: 30-35.
- Socarrás, A. A. y M. E. Rodríguez. 2007. Evaluación de la mesofauna del suelo en áreas rehabilitadas con casuarina y marañón de la zona minera de Moa. *Centro Agrícola* 34 (2): 69-74.
- Socarrás, A. A. y N. Robaina. 2011a. Mesofauna edáfica en diferentes usos de la tierra en la Llanura Roja de Mayabeque y Artemisa, Cuba. *Pastos y Forrajes* 34 (3): 347-358.

- Socarrás, A. A. y N. Robaina. 2011b. Caracterización de la mesofauna edáfica bajo diferentes usos de la tierra en suelo Ferralítico Rojo de Mayabeque y Artemisa. *Pastos y Forrajes* 34 (2): 185-198.
- Socarrás, A. y I. Izquierdo. 2014. Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. *Pastos y Forrajes* 37(1): 47-54.
- Socarrás, A. y I. Izquierdo. 2016. I. Variación de los componentes de la mesofauna edáfica en una finca con manejo agroecológico. *Pastos y Forrajes* 39: 41-48.
- Swift, M.J., D. Bignell, F. Moreira y E. J. Huising. 2012. Capítulo 1. El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. Pp. 29-52. En: *Manual de Biología de Suelos Tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (F. Moreira, E. J. Huising y D. E. Bignell, Eds.). Instituto Nacional de Ecología, México.
- Tondoh, E. J. y P. Lavelle. 2005. Population dynamics of *Hyperiodrilus africanus* (Oligochaeta, Eudrilidae) in Ivory Coast. *Journal of Tropical Ecology* 21: 493-500
- Velásquez, E., P. Lavelle y M. Andrade. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 3066-3080.
- Villalobos, F. J., R. O. Pulido, C. Moreno, N. P. Pavón, H. Hernández Trejo, J. Bell y S. Montiel. 2000. Patrones de la macrofauna edáfica en un cultivo de *Zea mays* durante la fase post-cosecha en la Mancha, Veracruz, México. *Acta Zoologica Mexicana* 80: 167-183.
- Würlmli, M. y S. Negrea. 1977. Les Scutigéromorphes de l'île de Cuba (Chilopoda: Scutigero-morpha). *Fragmenta Faunistica* 23 (7): 75-81.
- Zerbino, M. S., N. Altier, A. Morón y C. Rodríguez. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia* 12 (1): 44-55.



Cópula de *Rhinocricus maximus*. © C. Martínez-Muñoz

Anexo 14.1. Táxones que integran la mesofauna del suelo. NC: nombre común, UT: ubicación taxonómica (Phylum: Subphylum: Clase: Subclase: Orden: Suborden), CME: características morfológicas externas distintivas, GF: grupo funcional (Palacios Vargas, 1990, 1991; Brusca y Brusca, 2003; Krantz, 2009).

NC: **ÁCAROS ORIBÁTIDOS**

UT: Arthropoda: Cheliceriformes: Chelicerata: Arachnida: Acari: Cryptostigmata
CME: Los ácaros tienen el cuerpo dividido en gnatosoma e idiosoma. Gnatosoma ubicado anteriormente, con estructuras en par llamadas quelíceros y pedipalpos y las piezas bucales, todas involucradas en la alimentación. Idiosoma separado en una región media o podosoma donde están las patas y una región posterior u opistosoma. Presencia de cuatro pares de patas. Los oribátidos con cuerpo muy esclerotizado, con gnatosoma e idiosoma distinguibles e idiosoma globoso, como un caparazón o escudo.

GF: Detritívoros



NC: **ÁCAROS UROPODINOS**

UT: Arthropoda: Cheliceriformes: Chelicerata: Arachnida: Acari: Mesostigmata
CME: Cuerpo fuertemente esclerotizado, en forma de carapacho de jicotea, sin notable distinción entre gnatosoma e idiosoma.

GF: Detritívoros



NC: **ÁCAROS GAMASINOS**

UT: Arthropoda: Cheliceriformes: Chelicerata: Arachnida: Acari: Mesostigmata
CME: Cuerpo poco esclerotizado, de tamaño mediano a grande, donde se definen claramente gnatosoma e idiosoma. Con pedipalpos y quelíceros bien desarrollados, que emplean en la depredación.

GF: Depredadores



NC: **ÁCAROS ASTIGMADOS**

UT: Arthropoda: Cheliceriformes: Chelicerata: Arachnida: Acari: Astigmata
CME: En comparación con otros ácaros, son de muy pequeño tamaño. Tienen el cuerpo blando y son blanquecinos o transparentes. Como característica muy distintiva del grupo, presentan en el idiosoma un par de glándulas de aceite, aunque no siempre se observan. Entre todos los ácaros del suelo, son los menos frecuentes.

GF: Fungívoros



NC: **ÁCAROS PROSTIGMADOS**

UT: Arthropoda: Cheliceriformes: Chelicerata: Arachnida: Acari: Prostigmata
CME: De cuerpo pequeño, blanquecinos o transparentes, con gnatosoma muy desarrollado por su función depredadora. Piezas bucales como estiletes, que en ocasiones usan para lixiviar las presas.

GF: Depredadores



Anexo 14.1 (continuación). Mesofauna.

NC: COLÉMBOLOS

UT: Arthropoda: Hexapoda: Entognatha: Collembola

CME: Los colémbolos tienen el cuerpo dividido, igual que los insectos, en cabeza, tórax y abdomen. Poseen un par de antenas, tres pares de patas, pero no tienen alas (ápteros). Con o sin ojos pequeños compuestos. Abdomen generalmente con seis segmentos y al final del cuerpo presentan un órgano bifurcado llamado fúrcula, utilizado para el salto y a veces ausente. La clase Collembola tiene dos órdenes fundamentales: Arthropleona y Symphypleona y dentro de Arthropleona dos subórdenes característicos: Poduromorpha y Entomobryomorpha

GF: Detritívoros

ORDEN ARTHROPLEONA: Cuerpo alargado, nunca globoso, con segmentación visible, segmentos del tórax y primeros segmentos abdominales no fusionados. Fúrcula en ocasiones reducida o ausente.

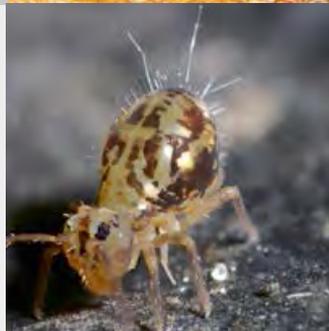
SUBORDEN PODUROMORPHA. Cuerpo cilíndrico, con segmentación visible y protórax bien desarrollado. Antenas cortas y fúrcula reducida o ausente.



SUBORDEN ENTOMOBRYOMORPHA. Cuerpo alargado, con segmentación visible y protórax reducido. Antenas y fúrcula muy largas.



ORDEN SYMPHYPLEONA. Cuerpo globoso, pigmentado, con segmentación poco clara, primeros segmentos abdominales fusionados. Antenas en forma de manubrio y fúrcula siempre bien desarrollada.



NC: PSOCÓPTEROS

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Psocoptera

CME: Cuerpo dividido en cabeza, tórax y abdomen, con tres pares de patas y dos pares de alas, como en la mayoría de los insectos. Los psocópteros son de pequeñas dimensiones y pueden ser alados o ápteros. Su cabeza es globosa, presentan ojos compuestos y antenas filiformes, aparato bucal masticador y mandíbulas asimétricas. Abdomen con nueve segmentos.

GF: Detritívoros



Anexo 14.1 (continuación). Mesofauna.

NC: **TRIPS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Thysanoptera

CME: Insectos con largas y estrechas alas, cuando están presentes. Con antenas y ojos compuestos. Piezas bucales de forma cónica, del tipo chupador, con mandíbula izquierda como estilete. Abdomen con 10 segmentos, sin cercos terminales.

GF: Herbívoros



NC: **DIPLUROS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Entognatha: Diplura

CME: Cuerpo delgado, alargado, blanquecino, segmentado y dividido en cabeza, tórax y abdomen. Con antenas largas hacia adelante, sin ojos, ápteros y con tres pares de patas. Abdomen con 11 segmentos y un par de cercos evidentes al final del cuerpo, de diferente forma y tamaño.

GF: Detritívoros y Depredadores



NC: **PROTUROS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Entognatha: Protura

CME: Cuerpo alargado y segmentado, con la cabeza en forma cónica y las piezas bucales adaptadas para chupar. Sin ojos ni antenas, ápteros y con tres pares de patas. Primer par de patas dirigidas hacia adelante tomando la posición y la función sensorial de las antenas. Abdomen con 11 segmentos y sin apéndice terminal.

GF: Detritívoros



NC: **PAURÓPODOS**

UT: Arthropoda: Myriapoda: Pauropoda

CME: Cuerpo dividido en cabeza y tronco segmentado, incoloros. Son ciegos y poseen antenas ramificadas y de 9 a 11 pares de patas en estado adulto.

GF: Fungívoros y herbívoros.



NC: **SINFILOS**

UT: Arthropoda: Myriapoda: Symphyla

CME: Cuerpo blanquecino, dividido en cabeza y tronco segmentado, con 15–24 segmentos, protegidos por placas dorsales solapadas. Por lo general, 12 pares de patas en estado adulto. No presentan ojos. Tienen antenas lineales muy largas y cercos terminales.

GF: Herbívoros y Omnívoros



NC: **GUSANOS ENQUITREIDOS**

UT: Annelida: Clitellata: Oligochaeta: Haplotaxida (Familia Enchytraeidae)

CME: Gusanos muy pequeños segmentados, blanquecinos, sin ojos, hermafroditas, muy cercanos a las lombrices de tierra.

GF: Detritívoros



Anexo 14.2. Táxones que integran la macrofauna del suelo. NC: nombre común, UT: ubicación taxonómica (Phylum: Subphylum: Clase: Subclase: Orden), CME: características morfológicas externas distintivas, GF: grupo funcional (Brusca y Brusca, 2003).

NC: **LOMBRICES DE TIERRA**

UT: Annelida: Clitellata: Oligochaeta: Haplotaxida

CME: Gusanos segmentados, cilíndricos, de textura blanda, húmeda y con estructuras externas e internas repetidas en cada segmento del cuerpo, lo que genera su condición de metamerismo. Cuerpo dividido en región anterior donde se ubica la boca y región posterior donde abre el ano. Organismos hermafroditas, con los órganos sexuales femeninos y masculinos en el mismo individuo. Externamente desarrollan el clitelo, estructura que interviene en la reproducción, y se manifiesta cuando el individuo ha alcanzado la madurez sexual como un cinturón engrosado alrededor de todo el cuerpo y que abarca pocos segmentos. Presencia de setas, a modo de pelos muy reducidos, que ayudan en la locomoción y la reproducción.

GF: Detritívoros e Ingenieros del ecosistema



NC: **CARACOL Y BABOSAS TERRESTRES**

UT: Mollusca: Gastropoda: Prosobranchia o Pulmonata

CME: Los gastrópodos tienen el cuerpo dividido en cabeza y tronco, más una cutícula o manto que secreta la concha de los caracoles, y un pie musculoso en contacto con el suelo, utilizado en la locomoción. La cabeza con tentáculos en cuyos extremos se encuentran los ojos. Los caracoles tienen el cuerpo cubierto con una concha rica en carbonato de calcio, de forma oval o cónica. Las babosas no tienen concha, el cuerpo es húmedo y envuelto en una sustancia gelatinosa que segregan y ayuda en el movimiento.

GF: Detritívoros y Depredadores



NC: **COCHINILLAS**

UT: Arthropoda: Crustacea: Malacostraca: Eumalacostraca: Isopoda

CME: Cuerpo aplanado dorsoventralmente, sin carapacho y dividido en cabeza (cefalón), tórax (pereion) y abdomen (pleon). Por lo general, la cabeza con dos a cinco segmentos fusionados, tórax con ocho segmentos y abdomen con seis. Cabeza pequeña, y tórax y abdomen sin diferenciarse claramente. Cabeza fusionada a los primeros segmentos torácicos, y provista de un par de ojos compuestos y dos pares de antenas, el primer par vestigial y el segundo bien desarrollado. Los segmentos torácicos y abdominales distintivos o fusionados, y tórax con siete pares de patas. Presencia de una estructura final llamada telson, fusionada casi siempre al último segmento abdominal. Últimos apéndices llamados urópodos, en forma de abanico o de estiletes.

GF: Detritívoros



NC: **MILPIÉS**

UT: Arthropoda: Myriapoda: Diplopoda

CME: Cuerpo dividido en cabeza y tronco. Cabeza con un par de antenas relativamente cortas de 7 u 8 segmentos, con campos ocelares o sin ocelos, y con órganos sensoriales de Tömösváry generalmente presentes en la base de las antenas. Dignatos, piezas bucales compuestas por un par de mandíbulas y un par de maxilas, llamadas gnatoquilario. Tronco con un número variable de segmentos. Los cuatro segmentos anteriores simples, el primero de ellos se llama collum o collar y es ápodo, los tres siguientes portan un par de patas cada uno, y a partir del quinto segmento del tronco los segmentos son dobles, con dos pares de patas y reciben el nombre de diplosegmentos. La presencia de los diplosegmentos es lo que da nombre al grupo (Diplopoda), y se encuentran divididos en terguito (parte dorsal), pleuras (laterales) y esternito (parte ventral). Las patas se articulan ventralmente y el tronco termina en el telson, formado por un anillo preanal con una placa dorsal, un par de valvas anales entre las que abre el ano, y una placa subanal. La mayoría de los diplópodos presenta un par de glándulas repugnatorias a partir del quinto anillo corporal, que secretan una sustancia repelente ante diversas amenazas. De los ocho órdenes de milpiés presentes en Cuba los más abundantes y frecuentes en el suelo de cualquier ecosistema son: Polyxenida, Polydesmida y Spirobolida

GF: Detritívoros

Anexo 14.2 (continuación). Macrofauna.

ORDEN POLYXENIDA. Con tegumento blando, no calcificado y de 5 a 10 mm de longitud. Tronco con 10-17 segmentos, con mechones de setas en las pleuras y en el extremo posterior del animal. No presentan glándulas repugnatorias.



ORDEN POLYDESMIDA. Con tegumento duro, calcificado y de cuerpo generalmente aplanado y variada coloración. Sin ocelos. Tronco con 18-20 segmentos, con o sin setas dispersas y tubérculos o protuberancias en su superficie. Diplosegmentos con terguitos lateralmente prominentes como quillas, llamadas paranotas.



ORDEN SPIROBOLIDA. Con tegumento duro, calcificado. Cabeza con una línea sutural media y ojos compuestos de numerosos ocelos. Cuerpo cilíndrico y tronco con más de 30 segmentos. Diplosegmentos con terguitos separados de las pleuras por una línea sutural distintiva.

**NC: CIEMPIÉS**

UT: Arthropoda: Myriapoda: Chilopoda

CME: Cuerpo dividido en cabeza y tronco, segmentado, alargado y aplanado. Tegumento blando, sin sales de calcio. Cabeza lenticular, con un par de antenas alargadas, moniliformes, articuladas y distalmente atenuadas, con órganos de Tömösváry en la base de las antenas. Cabeza con ojos, agrupaciones ocelares o sin ocelos. Trignatos, piezas bucales compuestas por un par de mandíbulas y dos pares de maxilas. Tronco con múltiples segmentos como en los milpiés, pero a diferencia de estos, con un solo par de patas por segmento, las cuales se articulan lateralmente y no ventralmente. Primer par de patas modificadas en forcípulas, las cuales contienen una glándula venenosa que actúa en la depredación. El último par de patas más desarrollado que los restantes, con función sensorial, de defensa o sostén del cuerpo. Tronco terminado en el telson, formado por un terguito y dos valvas anales entre las que se abre el ano. De los 4 órdenes de ciempiés presentes en Cuba (Scolopendromorpha, Geophilomorpha, Scutigero-morpha y Lithobiomorpha), los más comunes de encontrar en el suelo son los scolopendromorfos y los geofilomorfos. Estos y los escutigero-morfos también se encuentran con frecuencia en las cuevas.

GF: Depredadores

ORDEN SCOLOPENDROMORPHA. Cabeza con 4 ocelos a cada lado o sin ellos, con antenas de 17 o más segmentos. Tronco con 21 o 23 pares de patas y terguitos subiguales. Con espiráculos que abren en las pleuras. Último par de patas más unidas y orientadas en la misma dirección que el eje longitudinal del cuerpo (más unidas).



Anexo 14.2 (continuación). Macrofauna.

ORDEN GEOPHILOMORPHA. Cuerpo muy aplanado, como una cinta. Cabeza sin ocelos y con antenas de 14 segmentos. Tronco con más de 27 pares de patas y terguitos visiblemente iguales. Con espiráculos que abren en las pleuras. Último par de patas divergentes con respecto al eje longitudinal del cuerpo (más separadas).



ORDEN SCUTIGEROMORPHA. Cuerpo más bien cilíndrico. Cabeza con ojos compuestos y globosos, con antenas muy alargadas y filiformes. Tronco con 15 segmentos, aunque dorsalmente solo son visibles siete terguitos y los otros ocho son mucho más pequeños y quedan ocultos bajo los mayores. Con espiráculos que abren en los terguitos. 15 pares de patas muy largas, las 14 primeras participan en la locomoción y están adaptadas para correr; el último par anteniforme, con función sensorial.



NC: ARAÑAS

UT: Arthropoda: Cheliceriformes: Chelicerata: Arachnida: Araneae
 CME: Cuerpo dividido en cefalotórax o prosoma y abdomen o opistosoma, ambas partes unidas por una constricción denominada pedicelo. Región anterior o cefalotórax esclerosado dorsalmente, con dos a cuatro pares de ojos, un par de quelíceros y un par de pedipalpos, ambas estructuras usadas para capturar y dar muerte a sus presas. Región posterior o abdomen no segmentado, y donde se destacan ventralmente el surco epigástrico, los orificios respiratorios y los tres pares de hileras o hilanderas, junto al tubérculo anal. Poseen cuatro pares de patas como es característico en todos los arácnidos.

GF: Depredadores



NC: OPILIONES

UT: Arthropoda: Cheliceriformes: Chelicerata: Arachnida: Opiliones
 CME: Se diferencian de las arañas por tener el cefalotórax y el abdomen fusionados. Poseen quelíceros en forma de pinzas, un par de pedipalpos y cuatro pares de patas. A ambos lados del cefalotórax se abren glándulas repugnatorias que producen una sustancia maloliente con las que se defienden de los depredadores.

Otros representantes de arácnidos que pueden ser capturados en el suelo a través de los métodos descritos, son los escorpiones (orden Scorpiones), los pseudoescorpiones (orden Pseudoscorpionida) y esquizómidos (orden Schizomida).

GF: Depredadores.



NC: INSECTOS

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta

CME: Seguidamente se describen los grupos de insectos que más inciden en el suelo, ya sea en su estado adulto y/o larval. Los insectos adultos tienen el cuerpo dividido en cabeza, tórax y abdomen, y varían en tamaño y coloración. Cabeza con un par de ojos compuestos, un par de antenas y las piezas bucales; las antenas y piezas bucales de forma variable en cada insecto. En el tórax se insertan seis patas, y usualmente dos pares de alas. Abdomen con nueve a once segmentos, y en el último, algunos insectos poseen un par de estructuras llamadas cercos, de función sensorial. Las larvas no presentan alas ni ojos compuestos.

Anexo 14.2 (continuación). Macrofauna.

NC: **ESCARABAJOS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Coleoptera

CME: Es común encontrar en el suelo tanto adultos como larvas. Los adultos son esclerotizados y poseen piezas bucales masticadoras con fuertes mandíbulas; el primer par de alas llamadas élitros son esclerotizadas, cubren total o parcialmente el abdomen, no son funcionales para el vuelo y protegen el segundo par de alas que son membranosas y aptas para volar. Las larvas de escarabajos en comparación con las larvas de otros insectos, presentan la cabeza con sus piezas bucales de tipo masticador y los tres pares de patas, bien diferenciados. Las familias más usuales de encontrar son: Curculionidae, Chrysomelidae, Tenebrionidae, Carabidae, Staphylinidae, Elateridae y Scarabaeidae, las dos últimas principalmente en su forma larval.

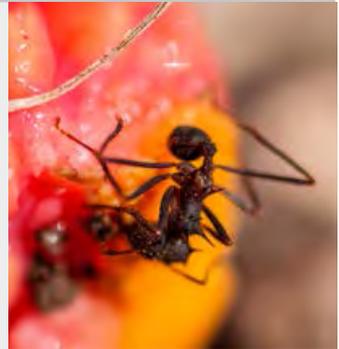
GF: Detritívoros, Depredadores y Herbívoros

NC: **HORMIGAS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Hymenoptera (Familia Formicidae)

CME: Insectos sociales cuyas colonias poseen diferentes castas o individuos (hembras o reinas, machos y obreras) definidos en cuanto a su morfología y función. Las hembras y los machos pueden desarrollar alas, ojos y son de mayor tamaño que las obreras. Estas últimas con aparato reproductor reducido y sin alas. Las hormigas se identifican fácilmente por sus antenas en ángulo recto o de forma acodada, con un primer segmento, el escapo, muy largo, y otro llamado flagelo compuesto por varios segmentos. Otra característica distintiva, es la presencia de una constricción entre el tórax y el abdomen, nombrada "cinturita" o pedicelo. El pedicelo formado por uno o dos segmentos, peciolo y postpeciolo, que se observan como protuberancias y pueden tener o no espinas.

GF: Omnívoros e Ingenieros del ecosistema

NC: **TERMITAS O COMEJENES**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Isoptera

CME: Insectos sociales, cuyas comunidades forman nidos denominados termiteros, donde conviven diferentes castas (alados, obreros y soldados). En general, son de cuerpos blandos con blanquecinos, con boca masticadora y en comparación con las hormigas, tienen antenas rectas, uniformes, no acodadas y no presentan constricción entre el tórax y el abdomen. Los adultos o alados tienen la cabeza con ojos prominentes, un par de antenas y una fontanela o poro frontal, que representa la abertura de la glándula frontal que secreta sustancias repelentes. Presentan en el tórax un par de alas iguales y membranosas. Los obreros tienen apariencia de ninfas, con tegumento blando y blanquecino, no tienen ojos ni alas, y son estériles. Los soldados, de características similares a los obreros, pero con la cabeza más fuerte, esclerotizada, de coloración oscura, con o sin fontanela y casi siempre con gran desarrollo de las mandíbulas.

GF: Detritívoros e Ingenieros del ecosistema

NC: **CUCARACHAS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Dictyoptera (Suborden Blattaria)

CME: En el suelo habitan tanto formas inmaduras o ninfas, como adultos. Son insectos aplanados y de forma ovalada. Poseen la cabeza pequeña y triangular, con un par de ojos compuestos grandes, un par de antenas muy largas y piezas bucales masticadoras muy desarrolladas. Tienen la primera parte del tórax, llamada pronoto, como un escudo que cubre la cabeza. Alas presentes en la mayoría de los adultos, aunque puede haber formas braquípteras (alas reducidas) y ápteras. Son animales que tienen patas largas y espinosas, de ágiles movimientos.

GF: Detritívoros y Omnívoros



Anexo 14.2 (continuación). Macrofauna.

NC: **TUERETAS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Dermaptera

CME: Insectos que realizan todo su ciclo de vida en el suelo y de actividad principalmente nocturna. Cuerpo ligeramente deprimido, elongado y de coloración oscura. Cabeza con ojos pequeños, antenas filiformes y boca masticadora. Pronoto plano, casi siempre cuadrado o rectangular con bordes redondeados. Puede haber individuos ápteros y alados. El primer par de alas como élitros y el segundo membranoso, en forma de abanico o semicircular y protegido por los élitros. Como carácter distintivo, presentan al final del cuerpo un par de estructuras a modo de fórceps, cercos o pinzas, usadas para la defensa y depredación.

GF: Detritívoros y Depredadores



NC: **MOSCAS Y MOSQUITOS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Diptera

CME: Es habitual encontrar en el suelo adultos y larvas. Los adultos tienen aparato bucal chupador, en forma de trompa bilobulada al final. Es peculiar en el grupo la presencia de solo un par de alas para el vuelo; el segundo par está reducido a manera de raqueta, que ayuda en el equilibrio y se conoce como halterios. Las larvas de moscas son finas y no se les distingue la cabeza ni las patas.

GF: Detritívoros y Depredadores



NC: **CHINCHES Y SALTA HOJAS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Hemiptera

CME: Se caracterizan por poseer un aparato bucal chupador, en forma de estilete o tubo succionador, que se extiende por debajo del cuerpo. Las chinches (Suborden Heteroptera) presentan el primer par de alas o hemiélitros, divididas en una mitad anterior o basal, dura y una mitad posterior o distal, membranosa. El segundo par es totalmente membranoso, y en reposo ambos pares de alas quedan planos con respecto al área del abdomen. En el caso de los salta hojas (Suborden Homoptera), sus alas son uniformemente membranosas y al cerrarse quedan inclinadas sobre el abdomen, formando un tejado.

GF: Herbívoros y Depredadores



NC: **ORUGAS, POLILLAS Y MARIPOSAS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Lepidoptera

CME: En el suelo se pueden capturar en estado adulto a las polillas, más que a las mariposas. Las polillas no tienen colores vistosos y su actividad es fundamentalmente nocturna, pero en común con las mariposas, presentan escamas en todo el cuerpo y tienen boca en forma de trompa enrollada que permite chupar el néctar de las flores. También es fácil encontrar orugas, que constituyen la fase larval de los lepidópteros, y se pueden confundir con las larvas de escarabajos. Las orugas tienen forma de gusano, aparato bucal masticador, la cabeza y los tres pares de patas diferenciados, y unas estructuras proyectadas o abultadas en el abdomen, consideradas falsas patas.

GF: Herbívoros



NC: **GRILLOS**

UT: Arthropoda: Hexapoda: Insecta: Pterygota: Orthoptera

CME: Los grillos tienen aparato bucal masticador y se distinguen porque la región anterior o fémur del tercer par de patas está engrosado, lo que facilita el salto de estos insectos. Poseen también antenas filiformes muy largas, que pueden llegar a tener una longitud que representa el doble de sus cuerpos. Típicamente presentan dos pares de alas, el primer par más coriáceo (tégminas) que el segundo. En comparación con otros insectos, poseen estructuras que producen sonido.

GF: Herbívoros

