

Relación de la biota edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo en cinco pastizales de la provincia Granma**Relationship of edaphic biota with soil physical and chemical properties in five pasturelands of Granma province**

Licet Chávez-Suárez¹ <https://orcid.org/0000-0002-7837-2168>, Idalmis Rodríguez-García² <https://orcid.org/0000-0001-5897-5431>, Verena Torres-Cárdenas² <https://orcid.org/0000-0002-7451-8748>, Diocles Benítez-Jiménez¹ <https://orcid.org/0000-0002-1046-1885> y Alexander Alvarez-Fonseca¹ <https://orcid.org/0000-0002-5218-445X>

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias Jorge Dimitrov. Carretera vía Manzanillo km 16 ½, Peralejo, Bayamo, Granma. ²Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: licet@dimitrov.cu, idalmisdoloresrodriguez-garcia@gmail.com, vtorres@ica.co.cu, diocles@dimitrov.cu, alexanderf@dimitrov.cu

Resumen

Objetivo: Determinar la relación entre algunas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo y el componente vegetal en agroecosistemas de pastizales de la provincia Granma, Cuba.

Materiales y Métodos: La investigación se desarrolló en cinco agroecosistemas de pastizales de la provincia Granma, Cuba, en el período 2014-2017. Se determinó la composición granulométrica, microestructura, estabilidad estructural, humedad higroscópica, densidad aparente, densidad real, pH (H₂O), Na, K, Ca, Mg, P₂O₅ y conductividad eléctrica en el laboratorio del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La macrofauna edáfica se colectó según el TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*) y las trampas de caída.

Resultados: Hubo correlación canónica significativa entre las propiedades químicas y físicas de los suelos y las comunidades de la macrofauna. Los órdenes Isopoda y Haplotaxida fueron las variables de la macrofauna edáfica que más aportaron a la varianza compartida por ambos grupos de variables. En tanto, la densidad aparente, la densidad real, el contenido de arcilla, la humedad higroscópica, el pH, Ca, K y Mg, fueron las propiedades físicas y químicas de mayor correlación.

Conclusiones: Se proponen los órdenes Haplotaxida e Isopoda como indicadores de calidad del suelo, seleccionados y validados a partir de los análisis de correlaciones canónicas con las propiedades edáficas físicas y químicas y con el componente vegetal.

Palabras clave: organismos del suelo, propiedades del suelo, sistemas pecuarios

Abstract

Objective: To determine the relationship among some soil chemical, physical and biological properties and the plant component in pastureland agroecosystems of Granma province, Cuba.

Materials and Methods: The research was conducted in five pastureland agroecosystems of Granma province, Cuba, in the period 2014-2017. The granulometric composition, microstructure, structural stability, hygroscopic humidity, bulk density, real density, pH (H₂O), Na, K, Ca, Mg, P₂O₅ and electrical conductivity were determined in the laboratory of the National Institute of Agricultural Sciences. The edaphic macrofauna was collected according to the TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*) and pitfall traps.

Results: There was significant canonical correlation between chemical and physical properties of soils and macrofauna communities. The orders Isopoda and Haplotaxida were the edaphic macrofauna variables that contributed most to the variance shared by both groups of variables. Meanwhile, bulk density, true density, clay content, hygroscopic moisture, pH, Ca, K and Mg, were the physical and chemical properties with the highest correlation.

Conclusions: The orders Haplotaxida and Isopoda are proposed as soil quality indicators, selected and validated from the analyses of canonical correlations with physical and chemical edaphic properties and with the plant component.

Keywords: soil organisms, soil properties, animal husbandry systems

Introducción

La biota edáfica comprende los organismos que pasan una parte o todo su ciclo de vida en el interior del suelo o sobre su superficie inmediata. Incluye artrópodos, nemátodos, moluscos, entre otros. De acuerdo con el tamaño de su cuerpo, la fauna edáfica

se clasifica en microfauna, mesofauna y macrofauna (Mekonen, 2019).

La edafofauna realiza múltiples servicios ambientales provechosos para el bienestar y la salud humana: descomposición de la materia

Recibido: 21 de abril de 2022

Aceptado: 16 de febrero de 2023

Como citar este artículo: Chávez-Suárez, Licet; Rodríguez-García, Idalmis; Torres-Cárdenas, Verena; Benítez-Jiménez Diocles & Alvarez-Fonseca, Alexander. Relación de la biota edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo en cinco pastizales de la provincia Granma. *Pastos y Forrajes*. 46:e08, 2023.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

orgánica, suministro de nutrientes para las plantas, mantenimiento de la estructura del suelo, movimiento y retención de agua en el perfil edáfico, control biológico de plagas y enfermedades y secuestro y liberación de carbono (Tanjung *et al.*, 2020).

Las comunidades de la macrofauna a menudo se consideran como bioindicadores de la calidad del suelo, por ser sensibles a los cambios ambientales que pueden ocasionar variación en su abundancia y composición (Machado-Cuellar *et al.*, 2020; Morel y Ortiz-Acosta, 2022). La calidad del suelo depende de propiedades físicas, químicas y biológicas. De acuerdo con su variabilidad espacial y temporal, sensibilidad a los cambios de uso del suelo y facilidad en su interpretación y ejecución, se pueden utilizar como indicadores de calidad.

El estudio de la relación entre las propiedades físicas y químicas del suelo, su intensidad de uso y la abundancia y diversidad de la biota edáfica, se utiliza para seleccionar indicadores de calidad, por lo que constituye un tópico actual en las investigaciones acerca de la ecología del suelo (Díaz-Porres *et al.*, 2014). En Cuba, se han identificado varios grupos de la macrofauna edáfica como indicadores de la calidad del suelo. No obstante, se recomienda para fortalecer las acciones de investigación, validación y generalización de resultados en el país, extender la utilización de los indicadores ya generados a distintos suelos y ecosistemas. (Cabrera-Dávila *et al.*, 2022). El objetivo de este estudio fue determinar la relación existente entre algunas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo y el componente vegetal, en agroecosistemas de pastizales de la provincia Granma, Cuba.

Materiales y Métodos

Localización. La investigación se desarrolló en cinco agroecosistemas de pastizales de la provincia Granma, ubicada en la porción suroeste de la región oriental de Cuba, entre las coordenadas 20°23'00"N y 76°39'09"O. En la tabla 1 se muestran las principales características de los agroecosistemas. Los muestreos se realizaron dos veces al año, en el período lluvioso, (PLL) y en el período poco lluvioso (PPLL), desde julio de 2014 hasta marzo de 2017.

Muestreo e identificación de la macrofauna y mesofauna edáficas. Se utilizaron dos métodos: el recomendado por el programa *Tropical Soil*

Biology and Fertility (Anderson e Ingram, 1993) y las trampas de caída o *pitfall* (Moreira *et al.*, 2012). Para el primer método, se limpió la hojarasca previamente y se extrajo todo tipo de cuerpos extraños, como piedras y residuos vegetales. En la diagonal del área de muestreo, se extrajeron cinco monolitos por hectárea, de 25 x 25 x 20 cm, a una distancia de 20 m. Manualmente se recolectaron y contaron los individuos de la macrofauna *in situ*. Las lombrices se conservaron en formaldehído al 4 % y los invertebrados restantes en etanol al 70 %.

Para el segundo método de muestreo, se colocaron en cada área de estudio nueve trampas, dispuestas en las dos diagonales en forma de cruz, con una trampa en el centro. Se utilizaron recipientes plásticos de 8 cm de diámetro y 10 cm de profundidad, los que se enterraron a ras del suelo, con el menor disturbio posible en el área circundante. Después se añadió una solución acuosa detergente al 0,003 %, preparada con detergente líquido comercial de LABIOFAM y se taparon con hojas secas y restos vegetales propios de cada agroecosistema. Al cabo de siete días, se colectó el contenido de las trampas en frascos de cristal y se trasladaron al laboratorio. Con la utilización del estereoscopio se extrajeron y contaron los individuos de la solución y se colocaron en viales con etanol al 70 %.

Para la identificación de los especímenes conservados se consultaron los trabajos de Hickman *et al.* (2008) y los de Brusca y Brusca (2003). También se revisó la colección entomológica perteneciente al Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal en Granma. Se definieron las variables en los monolitos y en las trampas de caída: número de individuos pertenecientes a los órdenes Araneae, Hymenoptera, Hymenoptera-Formicidae, Coleoptera, Isopoda, Hemiptera y Haplotaaxida.

La mesofauna edáfica se determinó en las trampas de caída. Después de aclarar los individuos con hidróxido de sodio al 5 % y pasarlos por lactofenol con un ligero calentamiento, se montaron finalmente en líquido FOR o Hoyer para su clasificación. La identificación taxonómica se realizó según los trabajos de Brusca y Brusca (2003) y Díaz-Azpiazu *et al.* (2004). Se definieron las variables número de ácaros y colémbolos.

Microflora. Se tomaron cinco muestras compuestas por diez submuestras, a profundidad de 0-20 cm, con ayuda de una piqueta. Se utilizó el método de las diluciones seriadas y siembra profunda en placas Petri (Mayea *et al.*, 1998). Se definieron como variables el número de unidades

Relación de la biota edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo en cinco pastizales

Tabla 1. Principales características de los agroecosistemas.

Agroecosistema	Triángulo y Progreso	Cupeycito	Ojo de agua	Estación de pastos
Municipio	Bayamo	Jiguani	Guisa	Bayamo
Afiliación	UBPC Francisco Suárez Soa	Empresa Genética Manuel Fajardo	Finca de Rafael Almaguer, CCS Braulio Coroneaux	Jorge Dimitrov
Propósito	Producción de leche	Cría de terneros	Ceba de toros	Ceba de toros
Tipo de suelo	Vertisol pélico	Pardo mullido carbonatado	Pardo mullido carbonatado	Fluvisol
Método de pastoreo	Continuo	Rotacional	Continuo	Rotacional
Área total de pastoreo, ha	T:18,5 P: 20,4	14,2	6,7	0,8
Área de muestreo, ha y porcentaje que representa del área total	T: 2 11 % P: 2 10 %	1,8 13 %	1,2 18 %	0,8 100 %
Tipo de pastos predominantes	<i>Dichanthium caricosum</i> L. A. Camus y <i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst.	<i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.)	<i>Dichanthium caricosum</i> L. A. Camus)	Sistema silvopastoril de hierba de <i>M. maximus</i> y <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.)
Tiempo de explotación, años	20	10	7	10
Raza y carga animal, UGM ha ⁻¹	Mestizo Siboney 1,5	Criollo 1,7	Mestizo 2,2	Mestizo Siboney 1
Condiciones generales	Área de pastoreo totalmente deforestada, sin cuarterones. Se encharca en la época de lluvia	Buen nivel de sombra por árboles y acuartonamiento, alta pedregosidad. Especies de árboles: <i>Coccoloba nucifera</i> ; <i>Guazuma ulmifolia</i> ; álamo (<i>Populus</i> sp.)	Buen nivel de sombra por árboles, sin cuarterones, relieve con pendiente (10 %). Susceptibilidad a la erosión. Especies de árboles: <i>L. leucocephala</i> ; <i>Samania saman</i> ; caoba (<i>Swietenia mahagoni</i> (L.) Jacq.); cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.)	Buen nivel de sombra, zona de intensa sequía

T: El Triángulo P: El Progreso, UBPC: Unidad básica de producción cooperativa, CCS: Cooperativa de crédito y servicio

formadoras de colonias (UFC) de bacterias, hongos y actinomicetos.

Las condiciones de aislamiento de la microflora se muestran en la tabla 2.

Determinación de las propiedades químicas y físicas del suelo. Para la determinación de los indicadores químicos y físicos (tabla 3), se tomaron cinco muestras compuestas (diez submuestras tomadas en zig-zag) en toda el área de muestreo, a profundidad de 0-20 cm, con la ayuda de una

barrena helicoidal. Estas muestras se secaron al aire y posteriormente se molinaron y tamizaron (1 mm) para la realización de los análisis agroquímicos. Para la determinación de la densidad aparente se tomaron muestras de suelo no disturbado.

Determinación de la composición botánica y la producción de biomasa. La composición botánica se determinó en 80 marcos ha⁻¹, distribuidos al azar, en cada área de muestreo mediante el método de t'Mannetje y Haydock (1963). La composición

Tabla 2. Condiciones de aislamiento de la microflora.

Grupo microbiano	Dilución	Medio de cultivo	Temperatura, °C	Tiempo de incubación
Bacterias	106	Agar nutriente	30	24 horas
Hongos	104	Agar extracto de malta	30	5 a 7 días
Actinomicetos	105	Agar almidón amoniacal	30	5 a 7 días

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del suelo. Métodos para su determinación.

Indicador	Métodos
pH (H ₂ O) (1:2)	Potenciometría, NC ISO 13.080.10 :2015
MO, %	NC ISO-51, 1999
Na, K, Ca, Mg‡	Extracción con AcNH ₄ , por el método de Maslova
Na, K, cmol kg ⁻¹	Determinación por fotometría de llama
Ca, Mg, cmol kg ⁻¹	Determinación por volumetría con EDTA
P ₂ O ₅ , ppm	Oniani (1964)
CE, dS m ⁻¹	Conductimétrico NC 112:2001
Composición granulométrica y microestructura, %	NRAG 408, 1981
Humedad higroscópica, %	Método gravimétrico NC 110, 2001
Densidad aparente, g cm ⁻³	NRAG 370, 1980
Densidad real, g cm ⁻³	NC 11 508, 2000
Tamizado en seco y estabilidad estructural, %	Método de Savinov (Orellana <i>et al.</i> , 1990)
Coefficiente de estructura en seco	Cálculo
Porosidad total	Pt = (1- Da/Dr)*100
Carbono orgánico, %	CO=MO*0,58

NC: Norma cubana, NRAG: Norma ramal agrícola, ‡ Cationes intercambiables

botánica se estimó a partir del valor de importancia relativa, que estuvo en función de la frecuencia y dominancia relativa del pasto, las plantas arvenses y el suelo desnudo o la despoblación, considerada por la ausencia de vegetación.

La disponibilidad de biomasa se determinó en cada área, en 100 marcos de 0,25 m², tomados al azar según la metodología de Haydock y Shaw (1975). Los patrones de muestras del pasto se cortaron a altura aproximada de 10 cm. Se definieron cuatro variables: porcentaje de pastos, de arvenses y suelo desnudo y producción de biomasa (t ha⁻¹).

Análisis estadístico. Se realizaron análisis de correlaciones canónicas entre los grupos de variables de la macrofauna edáfica en los monolitos y en las trampas de caída. La mesofauna y la microflora se determinaron con las variables físicas y químicas del suelo y las variables del componente vegetal definidas anteriormente. Este análisis se realizó para dos grupos de variables en cada caso. Se utilizaron dos criterios de significación de las relaciones canónicas, de acuerdo con Badii *et al.* (2007):

el nivel de significación estadística de las funciones ($p < 0,05$) y la magnitud de la correlación canónica ($R_{\text{canónico}} > 0,75$). El análisis se realizó con el paquete estadístico Statistica V 8.0 para Windows (Statsoft, 2008).

Resultados y Discusión

Correlaciones canónicas de las variables de la biota edáfica con las propiedades físicas y químicas de los suelos. El análisis de correlación canónica fue significativo entre las variables de la macrofauna y la microflora edáficas y las propiedades físicas y químicas del suelo (tabla 4). Al analizar la estructura de los factores obtenidos en la correlación canónica se observó que, en todos los casos, el orden Isopoda estuvo entre las variables de la macrofauna edáfica que más aportó a la varianza compartida por ambos grupos de variables. Para la macrofauna determinada por el método de los monolitos, se le adicionó el orden Haplotaxida, que solo se observó por este método. Lo anterior permite inferir que en los agroecosistemas objeto de estudio estos órdenes son los que más se relacionan con las propiedades

Tabla 4. Correlaciones canónicas entre variables de la biota edáfica y las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Grupo 1	Grupo 2	R canónico	χ^2	p	Variables que más contribuyen
Macrofauna-t	Físicos	0,89	67,01	0,008	Isopoda, Dr (-), Da
Macrofauna-t	Químicos	0,92	77,83	0,004	Isopoda, Mg, pH (-)
Macrofauna-m	Físicos	0,89	69,36	0,005	Isopoda, Haplotaxida, Hy (-), Arcilla (-)
Macrofauna-m	Químicos	0,91	72,95	0,012	Haplotaxida, Isopoda, Ca, K
Microflora	Físicos	0,99	130,87	0,000	Bacterias, Hy (-)
Microflora	Químicos	0,99	137,86	0,000	Actinomicetos, Na, Ca

Macrofauna-t: macrofauna capturada en las trampas; Macrofauna-m: macrofauna capturada en los monolitos

físicas y químicas de estos suelos. No existió correlación canónica significativa de las variables de la mesofauna edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo.

Hubo diferencias en cuanto a las variables físicas y químicas de mayor contribución a la varianza cuando se realizó el análisis con la macrofauna, determinada por el método de los monolitos y por las trampas de caída. En la macrofauna que se determinó por el método de las trampas, hubo influencia positiva del Mg y la Da, y por el pH y la Dr de forma negativa. En la macrofauna determinada por el método de los monolitos, se relacionó positivamente con el Ca, K y, de forma negativa, con la Hy y el porcentaje de arcilla. Esto se pudiera deber a las diferencias de la macrofauna colectada en ambos métodos, pues la fauna con características de mayor movilidad (actividad diurna o nocturna), se captura más fácil mediante las trampas; mientras

que los monolitos concentran su acción en aquellos organismos menos móviles, con actividad diurna fundamentalmente (Chávez, 2020).

Las figuras 1 y 2 muestran las correlaciones simples más importantes entre los organismos de la biota edáfica y las variables físicas y químicas de los suelos. El orden Isopoda se relacionó de forma positiva con la Dr, la humedad higroscópica y la porosidad total y, de forma negativa, con la Da, el Ca y el Mg. Los organismos pertenecientes a Haplotaxida se relacionan positivamente con la humedad higroscópica y el K y, de forma negativa, con el porcentaje de arcilla. Todas las relaciones de las bacterias fueron negativas con respecto a la estabilidad estructural, el porcentaje de arcilla, la humedad higroscópica y el Ca y Na.

Los hongos solo se relacionaron con las variables físicas de forma positiva (estabilidad estructural y Dr); mientras que los actinomicetos

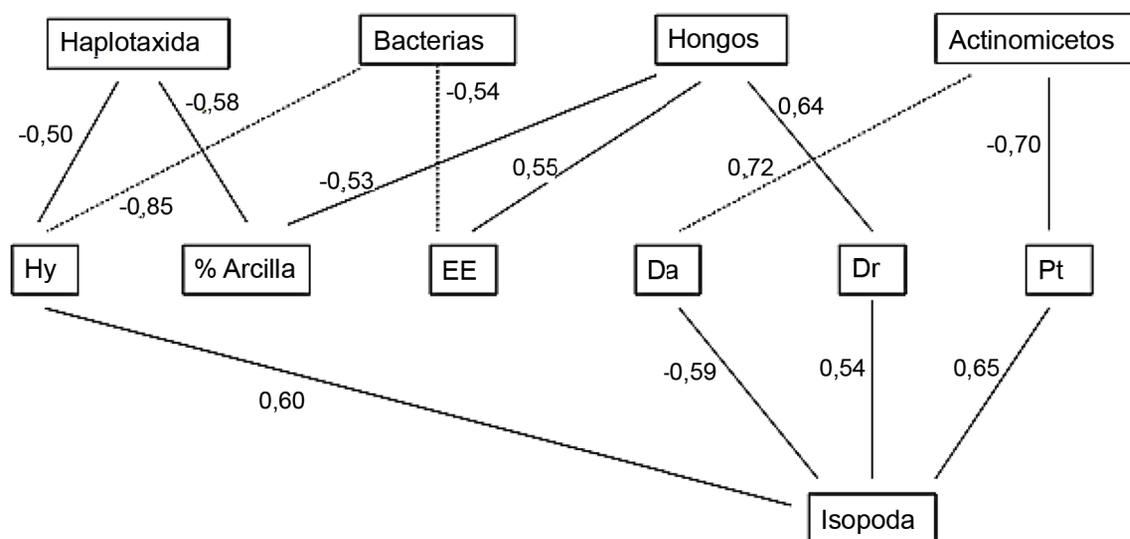


Fig. 1. Correlaciones entre la biota edáfica y variables físicas del suelo (Hy: humedad higroscópica, EE: estabilidad estructural, Da: densidad aparente, Dr: densidad real, Pt: porosidad total).

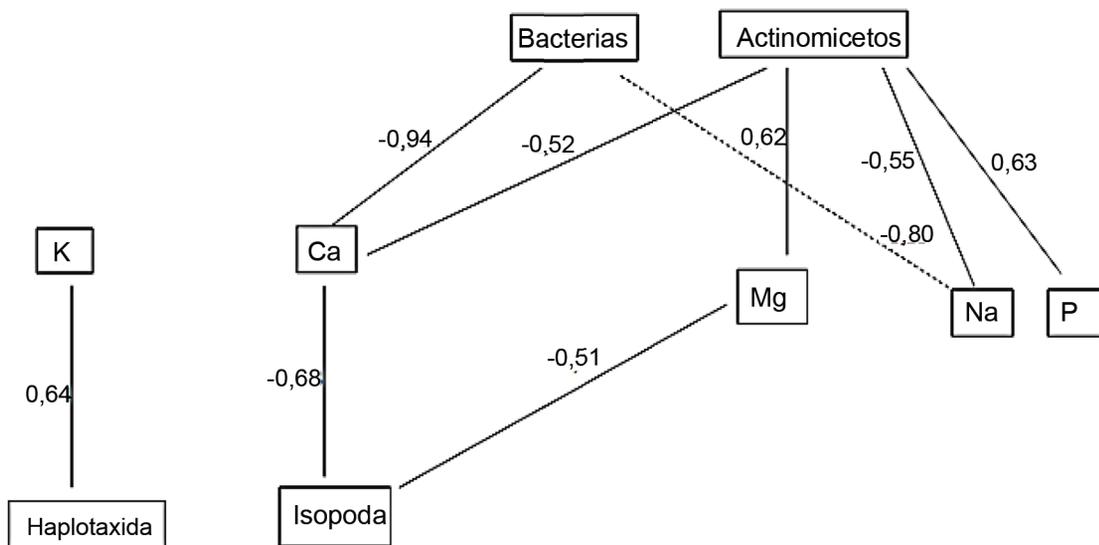


Fig. 2. Correlaciones entre la biota edáfica y variables químicas del suelo.

solo se relacionaron con las variables químicas (de forma negativa con el Ca y el Na, y positivamente con el Mg y el P).

La distribución de la macrofauna del suelo depende de varios factores: tipo de suelo, contenido de nutrientes, materia orgánica, pH, textura y estructura (Pollierer *et al.*, 2021). Además, son muy importantes los factores relacionados con la vegetación, el clima, el uso del suelo y el manejo antrópico desarrollado (Tanjung *et al.*, 2020; Valkay-Halkova *et al.*, 2022). Las correlaciones entre la biota edáfica y las propiedades físicas y químicas de los suelos halladas en el presente estudio han sido informadas por otros autores. Díaz-Porres *et al.* (2014) encontraron correlación significativa entre las variables físicas y químicas del suelo y la densidad de grupos taxonómicos de la macrofauna edáfica. Estos autores concluyeron que, al analizar la estructura de los factores obtenidos en la correlación canónica, la relación C/N y el porcentaje de materia orgánica fueron las variables edáficas que mejor explicaron la distribución de los macroartrópodos. Ello difiere de los resultados presentados, pues estos factores no fueron los de mayor contribución.

Desde el punto de vista de las correlaciones simples, también se registraron resultados similares a lo revisado en la literatura. Rosa *et al.* (2015) comprobaron que las propiedades químicas del suelo que mejor se correlacionaron con los grupos de la macrofauna edáfica fueron la materia orgánica, el Ca, el Mg, el P y el K, cuando realizaron un estudio

que incluyó pastizales, en Santa Catarina, Brazil. Gholami *et al.* (2016) informaron también un resultado coincidente, al constatar una correlación negativa del contenido de arcilla y la conductividad eléctrica, con algunos índices de la macrofauna edáfica (abundancia, uniformidad, riqueza y diversidad) en un estudio realizado en un bosque al suroeste de Irán. Estos índices tuvieron correlación positiva con el contenido de materia orgánica y de limo. Hani y Suhaendah (2019) señalaron que los factores que influyeron en la diversidad de la macrofauna del suelo fueron el pH, la temperatura y la humedad del suelo. Ge *et al.* (2021) distinguieron al carbono orgánico como el principal factor entre las propiedades del suelo, el cual determina la composición de la macrofauna edáfica.

Li *et al.* (2020) informaron que los grupos de la biota Bourletiella (Collembola), Symphylla y Armadillidae (Isopoda) estuvieron influenciados principalmente por el contenido de K. En tanto, las larvas de Staphylinidae (Coleoptera) se afectaron fundamentalmente por la temperatura del suelo. Otros grupos, como Muscidae (Diptera), Chironomid, Psychodidae, y Scydmaenidae (Coleoptera), mostraron influencia mínima de los factores del suelo.

Tulande *et al.* (2018) constataron igualmente que la macrofauna mostró respuesta positiva al contenido de P, K y Na del suelo, en los Andes colombianos. Otros autores informaron que el P y el Na determinan la presencia de algunos grupos de la macrofauna edáfica, como Araneae, Coleoptera,

Isopoda y Haplotaxida (Ott *et al.*, 2014). Sin embargo, en campos de arroz en Indonesia, Tanjung *et al.* (2020) establecieron que la disponibilidad de P no influyó en el incremento de la diversidad de los grupos de la macrofauna edáfica.

En un estudio realizado en sabanas naturales con pastoreo en los llanos venezolanos, Morales-Márquez *et al.* (2018) observaron que la macrofauna edáfica se correlacionó positivamente con la porosidad del suelo y de forma negativa con la densidad aparente, como sucedió con el orden Isopoda en esta investigación (fig. 1).

Varias investigaciones en regiones tropicales y subtropicales han relacionado directamente, a escala local, la distribución espacial, densidad y biomasa de las lombrices de tierra y comunidades de la macrofauna del suelo con el contenido de materia orgánica, nitrógeno y otros nutrientes, relación C/N, pH, textura (contenido de arena y arcilla), capacidad de intercambio catiónico, retención de agua, aireación, porosidad y estructura del suelo (Rodríguez-Suárez *et al.*, 2019; Sofo *et al.*, 2020; Panklang *et al.*, 2022).

La literatura evidencia la importancia de los nutrientes del suelo para el desarrollo de la macrofauna edáfica, como el calcio, que interviene en varios mecanismos de regulación osmótica en los invertebrados, así como en los procesos de crecimiento (Rosa *et al.*, 2015). Mientras, en los oligoquetos, forma parte del arreglo espacial de las subunidades polipeptídicas de la hemoglobina (Moreira *et al.*, 2011).

Según De-la-Cruz-Lozano (2005), el potasio y el fósforo pueden ser factores limitantes del crecimiento de los insectos y el magnesio es esencial como cofactor enzimático.

Si se analiza la mayor contribución de los órdenes Haplotaxida e Isopoda a los factores obtenidos en la correlación canónica junto a Dr, Da, Hy, contenido de arcilla, pH, Ca, K, Mg y Na, también se encuentran elementos que coinciden con la literatura. La dependencia de las lombrices de tierra de la textura, densidad real, porosidad y carbono orgánico, manifiesta cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (Zhukova y Mytaii, 2022). Según estos autores, las lombrices de tierra prevalecen en ambientes edáficos húmedos, no compactados y con alto contenido de materia orgánica.

Rodríguez (2020) en un estudio con varios niveles de diversificación e intensificación en la rotación de cultivos en Argentina, constató que la

abundancia y la biomasa de las lombrices de tierra se relacionaron de forma positiva, fundamentalmente con el contenido de materia orgánica. De igual forma, Hoeffner *et al.* (2021), en 24 pastizales de Francia, pudieron comprobar que el incremento de la materia orgánica fue el factor más favorable para la abundancia y la biomasa de las lombrices. Nanganoa *et al.* (2019) registraron una correlación fuerte y negativa del pH y el número de lombrices en cinco usos intensivos de la tierra en el trópico húmedo de Camerún.

También se reconoce que, organismos detritívoros, como los pertenecientes al orden Isopoda, son muy sensibles a los cambios físicos y químicos del suelo, así como a los cambios bruscos de temperatura y humedad en sus hábitats, por lo que se pueden utilizar para indicar el estado de perturbación en el medio edáfico. Para estos organismos es indispensable la cobertura vegetal diversa, pues trae consigo una hojarasca más heterogénea y mayor concentración de macronutrientes en el suelo. Al respecto, Isopoda se ha asociado con una mayor cobertura vegetal, materia orgánica y humedad del suelo (Cabrera-Dávila, 2019). Otros autores enfatizaron la importancia de Isopoda en la descomposición de la hojarasca y la interacción con los microorganismos del suelo (Pey *et al.*, 2019).

Correlaciones canónicas entre variables de la biota edáfica. Entre los diferentes grupos de la biota edáfica, también se establecieron correlaciones canónicas significativas. Este es el caso de la macrofauna determinada por las trampas y la mesofauna ($R_{\text{canónico}} = 0,79$; $\chi^2 = 29,12$; $p = 0,0038$). Aquí, los coleópteros y ácaros fueron las variables que más influyeron negativamente. La microflora (bacterias, hongos, actinomicetos) se correlacionó con la macrofauna determinada por los monolitos ($R_{\text{canónico}} = 0,95$; $\chi^2 = 29,12$; $p = 0,0099$). El número de bacterias y el orden Isopoda fueron las variables que tuvieron mayor contribución negativa a la varianza.

Las correlaciones individuales mostraron que las bacterias se relacionaron positivamente con el orden Isopoda, Hemiptera, Haplotaxida y con los actinomicetos, que tuvieron una relación positiva con los hongos (fig. 3).

Varios grupos de la biota se relacionaron entre sí: ácaros y coleópteros, arañas e himenópteros, hormigas y coleópteros, presumiblemente por su similar movilidad. Resulta interesante que todas las relaciones que se establecieron entre los componentes

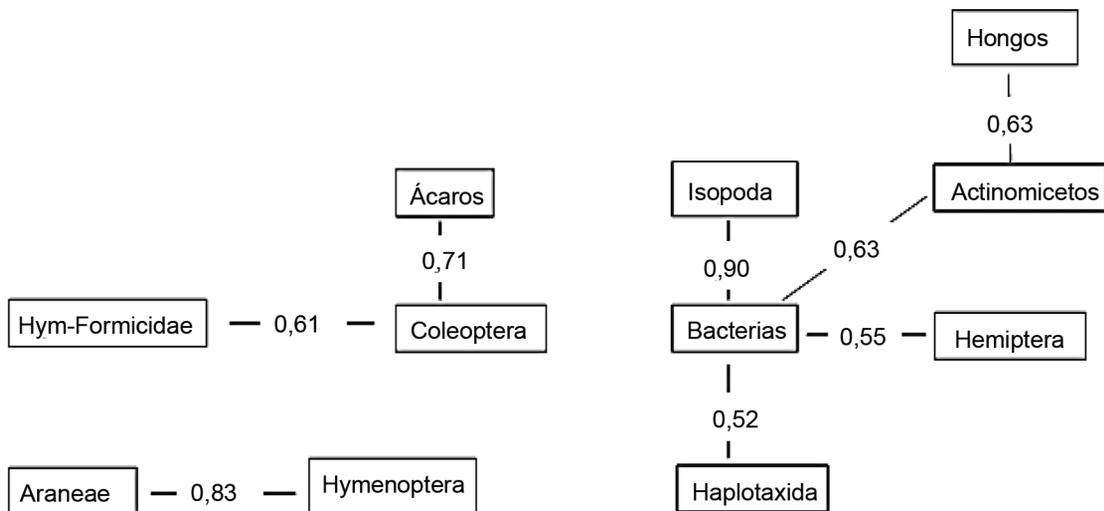


Fig. 3. Correlaciones entre los grupos de la biota edáfica.

de la biota edáfica fueron positivas. Díaz-Porres *et al.* (2014) encontraron también este tipo de correlación entre Araneae y Coleoptera y otros grupos de la macrofauna edáfica: Isopoda con Hemiptera y Lepidoptera con Chilopoda.

Correlaciones canónicas entre las variables de la biota edáfica y las variables del componente vegetal. Las variables de la biota edáfica que mostraron correlaciones canónicas significativas con las variables del componente vegetal fueron la macrofauna determinada por los monolitos ($R_{\text{canónico}} = 0,89$; $\chi^2 = 54,39$; $p = 0,00038$) y la microflora ($R_{\text{canónico}} = 0,93$; $\chi^2 = 59,71$; $p = 0,0000$). De las primeras, las variables que más contribuyeron a la varianza fueron el porcentaje de despoblación y el orden Haplotalaxida. De las segundas, el porcentaje de arvenses y los hongos demostraron mayor contribución. Las bacterias y los individuos pertenecientes a Isopoda se relacionaron de forma positiva con la producción de biomasa y el porcentaje de pastos (fig. 4). Los actinomycetos y las bacterias se relacionaron negativamente con el porcentaje de arvenses. Mientras que, los hongos lo hicieron de forma positiva; al parecer los suelos con mayor cobertura de arvenses fueron los que brindaron mejores condiciones para estos microorganismos y, a su vez, se relacionaron negativamente con el porcentaje de pastos.

Se ha informado ampliamente en la literatura que la diversidad de la vegetación, así como la cobertura del suelo, se asocian con la diversidad y la abundancia de la fauna edáfica (Lo-Sardo y Silva, 2019; Sabatté *et al.*, 2021; Panklang *et al.*, 2022).

Lo anterior avala los resultados que mostraron la relación entre las variables del componente vegetal y la macrofauna, determinada por los monolitos y la microflora.

Rodríguez-Suárez *et al.* (2018) en la evaluación de la macrofauna edáfica en usos diferentes de la tierra de la Amazonía colombiana, incluidos pastizales y sistemas silvopastoriles, refirieron que el análisis de componentes principales separó al bosque natural como el uso de la tierra con mayor diversidad de la macrofauna, donde abundaron los órdenes Isopoda y Gastropoda. Según estos autores, los resultados indican que la mayor diversidad de árboles puede resultar en mayor heterogeneidad y cantidad de hojarasca y, consecuentemente, mayor disponibilidad de alimentos y microhábitats, así como mejores condiciones edáficas y microclimáticas para el desarrollo de la macrofauna.

Rodríguez (2020) señaló que la abundancia y la biomasa de las lombrices de tierra se relacionaron positivamente con los índices intensidad de la rotación y proporción de leguminosas en los agroecosistemas de Argentina. Singh *et al.* (2021) informaron que, en Alemania, en diferentes tipos de pastizales, las comunidades de lombrices se afectaron significativamente. La menor abundancia y biomasa se pudo ver en el pastizal sometido a uso intensivo, debido a la menor diversidad de plantas presentes. Guaca *et al.* (2019) refirieron efecto significativo de la vegetación (bosques, plantación boscosa, silvopastoreo y pastizal) en las propiedades microbiológicas del suelo en la Amazonía colombiana.

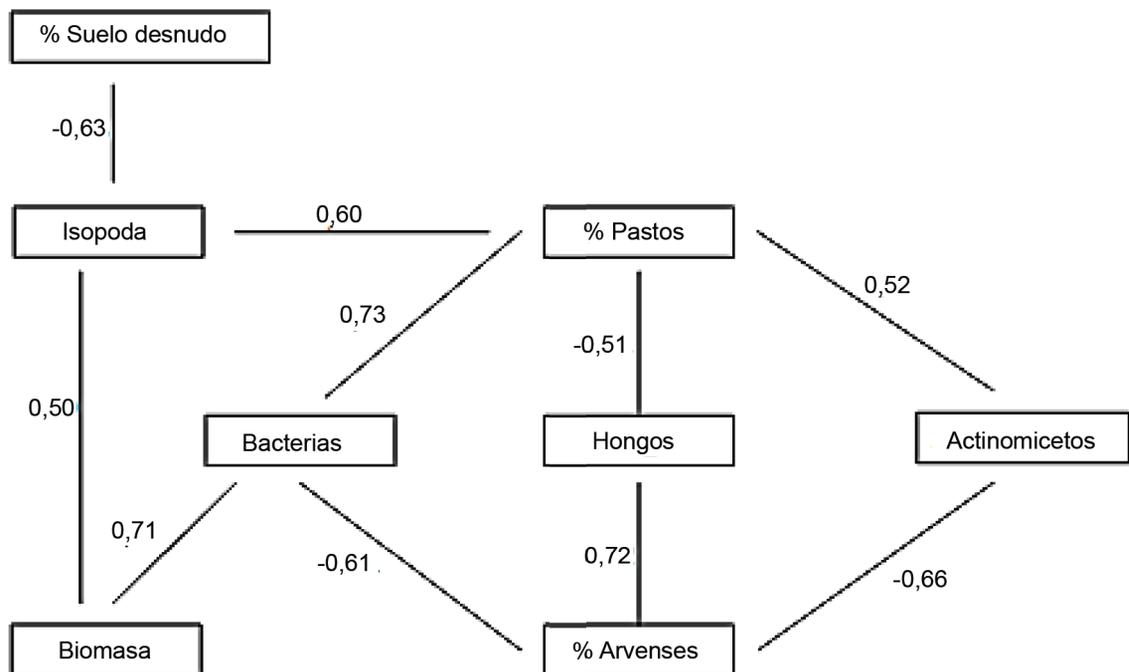


Fig. 4. Correlaciones entre la biota edáfica y variables de la vegetación.

Selección de indicadores. Los órdenes de la macrofauna edáfica Isopoda y Haplotaxida se seleccionaron como indicadores de buena calidad del medio edáfico, pues según el análisis de correlaciones canónicas fueron los que tuvieron mayor relación con las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como con las variables del componente vegetal en los pastizales estudiados. Además, como indicadores biológicos cumplen determinadas características que los avalan para este fin: gran aptitud para la especiación, ciclo de vida corto, poco poder de dispersión por su adaptación a la vida edáfica y a diferentes tipos de suelo, hábitos alimentarios relacionados con la degradación de la materia orgánica y respuesta predecible a los cambios en el ambiente (Cabrera-Dávila, 2019). Estos organismos son fáciles de coleccionar e identificar, pues se pueden ver a simple vista. Además, no se necesita equipamiento de laboratorio, ni reactivos, ni personal especializado para su determinación, lo que constituye una limitación para los indicadores físicos y químicos.

Varios estudios sugieren el uso de las lombrices de tierra como indicadores de la calidad del suelo (Mekonen, 2019; Siebert *et al.*, 2019; Rodríguez, 2020). En Cuba, Cabrera-Dávila (2019) propuso como indicador faunístico la relación lombrices/hormigas. En los usos de la tierra con mayor cober-

tura del suelo, como es el caso de los bosques, esta relación fue mayor que uno; mientras que en sistemas de uso con mayor grado de disturbio los valores fueron próximos a cero. Los autores señalan la utilidad práctica de este indicador, pues los grupos involucrados son de fácil identificación y no requieren conocimiento especializado. De igual forma, se definen las familias pertenecientes a Isopoda como taxones indicadores: Philosciidae en bosques primarios y Trachelipidae y Armadillidae, en sistemas agroforestales.

No obstante, Ramírez *et al.* (2019) reconocen que la identificación y estudio de estos organismos como bioindicadores de la calidad del suelo y de la biodiversidad de los ecosistemas permanece como un problema universal, y que las comunidades de los macro-invertebrados varían en su composición, abundancia y riqueza, en dependencia del estado de perturbación que causa el cambio de uso de suelo. Por tanto, se trata de indicadores de la perturbación e impacto de las diferentes formas de manejo.

Conclusiones

Existieron correlaciones canónicas significativas entre las propiedades físicas y químicas del suelo con la biota edáfica, y de esta con el componente vegetal y entre las propias variables biológicas. A partir de estas últimas fue posible sugerir relacio-

nes entre estos elementos en los agroecosistemas de pastizales estudiados, las que ayudan a explicar la dinámica de estos organismos del suelo con las propiedades físicas y químicas y con el componente vegetal. Se proponen los órdenes Haplotaxida e Isopoda como indicadores de calidad del suelo, seleccionados y validados a partir de los análisis de correlaciones canónicas entre las propiedades edáficas físicas y químicas y el componente vegetal. A esto se adiciona, la facilidad en su muestreo e identificación, posible de realizar por productores, investigadores y otros especialistas.

Agradecimientos

Se agradece a los directivos y colectivos laborales de las unidades donde se realizó la investigación y al proyecto nacional P131_LH002_016 "Rehabilitación de sistemas pastoriles en ecosistemas frágiles y degradados de la región oriental cubana" por el financiamiento para la investigación.

Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses entre los autores.

Contribución de los autores

- Licet Chávez-Suárez. Diseñó la investigación, dirigió el trabajo de campo, realizó el análisis e interpretación de los resultados y redactó el artículo.
- Idalmis Rodríguez-García. Participó en el diseño de la investigación, en el análisis e interpretación de los resultados y en la redacción del artículo.
- Verena Torres-Cárdenas: Realizó el análisis estadístico de los resultados y colaboró en su análisis e interpretación.
- Diocles Benítez-Jiménez. Colaboró en el diseño de la investigación y con el análisis estadístico e interpretación de los resultados.
- Alexander Alvarez Fonseca. Participó en el diseño de la investigación, realizó la toma de muestras en campo y colaboró en la redacción del artículo.

Referencias bibliográficas

- Anderson, J. M. & Ingranm, J. S. I., Eds. *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International, 1993.
- Badii, M. H.; Castillo, J.; Cortez, K.; Wong, A. & Villalpando, P. Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*. 4 (2):405-422, 2007. DOI: <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-9>.
- Brusca, R. C. & Brusca, G. J. 2da ed. Mc Graw. Hill de España. 973 p. Edición española a cargo de Fernando Pardos Martínez, Universidad Complutense de Madrid. *Invertebrados*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana, 2003.
- Cabrera-Dávila, Grisel de la C. *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba*. Doctorado en Conservación y Restauración de Ecosistemas. Alicante, España: Departamento de Ecología, Instituto de Ecología y Sistemática, Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/88889>, 2019.
- Cabrera-Dávila, Grisel de la C.; Sánchez-Rendón, J. A. & Lima, D. Ponce-de-León-. Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Bot. Cub.* 221:e01. <https://cu-id.com/2402/v221e01>, 2022.
- Chávez, Licet. *Caracterización de la biota edáfica y su relación con las propiedades del suelo en agroecosistemas de pastizales de la provincia Granma*. Tesis de Doctorado. San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2020.
- De-la-Cruz-Lozano, J. *Entomología, morfología y fisiología de los insectos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. https://www.bfa.fcny.unlp.edu.ar/catalogo/doc_num.php?explnum_id=2992, 2005.
- Díaz-Azpiazu, Magaly; González-Cairo, Vivian; Palacios-Vargas, J. G. & Luciani-Sánchez, Ma. José. Clave dicotómica para la determinación de los colémbolos de Cuba (Hexapoda: Collembola). *Boln. S.E.A.* 34:73-83. http://sea-entomologia.org/PDF/BOLETIN_34/B34-011-073.pdf, 2004.
- Díaz-Porres, Mónica; Rionda, Macarena H.; Duhour, A. E. & Momo, F. R. Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecología Austral*. 24:327-334, 2014. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.14.24.3.0.10>.
- Ge, B.; Yang, R.; Yang, L.; Jiang, S. & Tang, B. Changes in soil macrofaunal communities along soil age gradient under centuries of cultivation after coastal reclamation. *CATENA*. 200:105170, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105170>.
- Gholami, Shaieste; Sayad, E.; Gebbers, R.; Schirrmann, M.; Joschko, Monika & Timmer, J. Spatial analysis of riparian forest soil macrofauna and its relation to abiotic soil properties. *Pedobiologia*. 59 (1):27-36, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2015.12.003>.
- Guaca, L.; Contreras, A. T.; Rodríguez, L. & Suárez, J. C. Microbial properties of soil in different coverages in the Colombian Amazon. *FLORAM*. 26 (4):e20171051, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150033>.
- Hani, A. & Suhaendah, E. Diversity of soil macro fauna and its role on soil fertility in manglid agroforestry. *Indones. J. For. Res.* 6 (1):61-68. <https://>

- pdfs.semanticscholar.org/9366/1bdfdfaccaf307c-fe10d1dfb45c2756eb442.pdf, 2019.
- Haydock, K. P. & Shaw, N. H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric.* 15 (76):663- 670, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA9750663>.
- Hickman, C. P.; Roberts, L. S.; Keen, Susan L.; Larson, A.; T'Anson, Helen & Eisenhour, D. J. *Integrated principles of Zoology*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc. <https://content.schoolinsites.com/api/documents/a622d099c254413d9f2b81204f1d0de3.pdf>, 2008.
- Hoeffner, K.; Santonja, M.; Monard, Cécile; Barbe, L.; Moing, Mathilde L. E. & Cluzeau, D. Soil properties, grassland management, and landscape diversity drive the assembly of earthworm communities in temperate grasslands. *Pedosphere*. 31 (3):375-383, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60020-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60020-0).
- Li, W.; Dou, Z.; Cui, Lijuan; Zhao, X.; Zhang, Manyin; Zhang, Yan *et al.* Soil fauna diversity at different stages of reed restoration in a lakeshore wetland at Lake Taihu, China. *Ecosyst. Health Sustain.* 6 (1):1722034, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1722034>.
- Lo Sardo, P. M. & Silva, J. Edaphic macrofauna as a recovery indicator of abandoned areas of *Corymbia citriodora* in the Southeastern Brazil. *FLORAM.* 26 (4):e20190031, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.003119>.
- Machado-Cuellar, Leidy; Rodríguez-Suárez, L.; Murcia-Torrejano, V.; Orduz-Tovar, S. A.; Ordoñez-Espinosa, Claudia M. & Suárez, J. C. Macrofauna del suelo y condiciones edafoclimáticas en un gradiente altitudinal de zonas cafeteras, Huila, Colombia. *Rev. biol. trop.* 69 (1):102-112, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42955>.
- Mayea, S.; Novo, R.; Boado, I.; Silveira, E.; Soria, M.; Morales, Y. *et al.* *Microbiología agropecuaria*. La Habana: Editorial Félix Varela, 1998.
- Mekonen, S. Soil fauna as webmasters, engineers and bioindicators in ecosystems: implications for conservation ecology and sustainable agriculture. *Am. J. Life Sci.* 7 (1):17-26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajls.20190701.14>.
- Morales-Márquez, J. A.; Hernández-Hernández, Rosa M.; Sánchez, Gloria K.; Lozano, Zenaida; Castro, I.; Bravo, C. *et al.* Soil macroinvertebrates community and its temporal variation in a well-drained savannah of the Venezuelan Llanos. *Eur. J. Soil Biol.* 84:19-26, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.11.002>.
- Moreira, Fátima M. S.; Huissisg, E. J. & Bignell, D. E., Eds. *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012.
- Moreira, L. M.; Moraes, P. C. G. de; Mendonça, J. P. R. F. de; Guimarães, Luciana; Lyon, Juliana P.; Aimbire, F. *et al.* Hemoglobina extracelular gigante de *Glossoscolex paulistus*: um extraordinário sistema supramolecular hemoproteico. *Quim. Nova.* 34 (1):119-130. <https://www.scielo.br/j/qn/a/8Sxpx8Rwj6bGGjNPrf4P9wS/?lang=pt>, 2011.
- Morel, A. & Ortiz-Acosta, O. Quality of the soil in the different uses and managements through macrofauna as a biological indicator. *Braz. J. Anim. Environ. Res.* 5 (1):996-1006, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-074>.
- Nanganoa, L. T.; Okolle, J. N.; Missi, V.; Tueche, J. R.; Levai, L. D. & Njukeng, J. N. Impact of different land-use systems on soil physicochemical properties and macrofauna abundance in the humid tropics of Cameroon. *Appl. Environ. Soil Sci.* 2019:5701278, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/5701278>.
- Ott, D.; Digel, C.; Klarner, B.; Maraun, M.; Pollierer, Melanie; Rall, B. C. *et al.* Litter elemental stoichiometry and biomass densities of forest soil invertebrates. *Oikos.* 123 (10):1212-1223, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.01670>.
- Panklang, P.; Thaler, P.; Thoumazeau, A.; Chiarawipa, R.; Sdoodee, S. & Brauman, A. How 75 years of rubber monocropping affects soil fauna and nematodes as the bioindicators for soil biodiversity quality index. *Acta Agric. Scand. B Soil Plant Sci.* 72 (1):612-622, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2034930>.
- Pey, B.; Trãn, Cécile; Cruz, P.; Hedde, M.; Jouany, Claire; Laplanche, C. *et al.* Nutritive value and physical and chemical deterrents of forage grass litter explain feeding performances of two soil macrodetritivores. *Appl. Soil Ecol.* 133:81-88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.006>.
- Pollierer, Melanie M.; Klarner, B.; Ott, D.; Digel, C.; Ehnes, Roswitha B.; Eitzinger, B. *et al.* Diversity and functional structure of soil animal communities suggest soil animal food webs to be buffered against changes in forest land use. *Oecologia.* 196 (1):195-209, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-021-04910-1>.
- Ramírez-Barajas, P. J.; Santos-Chable, Bella E.; Casanova-Lugo, F.; Lara-Pérez, L. A.; Tucuch-Haas, J. I.; Escobedo-Cabrera, A. *et al.* Diversidad de macro-invertebrados en sistemas silvopastoriles del sur de Quintana Roo, México. *Rev. biol. trop.* 67 (6):1383-1393, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i6.36944>.
- Rodríguez, María P.; Domínguez, Anahí; Moreira-Ferroni, Melisa; Wall, L. G. & Bedano, J. C. The diversification and intensification of crop rotations