

MACROFAUNA EDÁFICA COMO BIOINDICADOR EN ECOSISTEMAS SEMIÁRIDOS DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA, ECUADOR

EDAPHIC MACROFAUNA AS A BIOINDICATOR IN SEMIARID ECOSYSTEMS OF THE SANTA ELENA PENINSULA, ECUADOR

✉ GRISEL DE LA C. CABRERA DÁVILA^{1,✉}, DANIEL PONCE DE LEÓN²,
ELENA CORTEZ POZO², JENYFFER POZO QUIROZ³

1. Grupo Ecología del Suelo. Sección Ecología Funcional. Instituto de Ecología y Sistemática. Carretera Varona # 11835, Boyeros, C.P. 11900, La Habana 19, Cuba
2. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena. Avda. Principal La Libertad, Santa Elena, Ecuador
3. Veterinaria Benítez, Santa Elena, Ecuador

RESUMEN: Se investigó el efecto de la intensidad del uso de la tierra en las comunidades de macroinvertebrados del suelo, también se comprobó el momento de muestreo y la funcionalidad de indicadores macrofaunísticos, bajo condiciones semiáridas en la provincia de Santa Elena; zona en franco proceso de desertificación y ubicada en la región Costa del Ecuador. Se evaluaron dos momentos de muestreo al inicio del período lluvioso y dos sistemas de uso de la tierra, un Bosque Seco Tropical regenerado (BSTR) y un Cultivo de Ciclo Corto (CCC). Los macroinvertebrados se recolectaron según la metodología TSBF, y se determinó su riqueza, diversidad y abundancia, así como el indicador funcional Detritívoros/No Detritívoros. El análisis estadístico a través del paquete Stats de R Core Team, contempló principalmente la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. No se encontraron diferencias significativas entre los momentos de muestreo, lo que permitió considerar ambos muestreos como uno solo dentro del período de estudio. Los menores valores de riqueza, diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica, así como la disminución sustancial de toda la trama trófica en el CCC con respecto al BSTR, respondió al impacto negativo del manejo intenso del suelo y a la falta de cobertura vegetal. El resultado del indicador Detritívoros/No Detritívoros, con proporciones cercanas entre sus componentes en ambos sistemas de uso y con un valor más bajo en el BSTR, indicó una inestabilidad en el medio edáfico debido, principalmente, a las condiciones semiáridas en la región de estudio.

PALABRAS CLAVE: bosque seco tropical, bioindicadores, macroinvertebrados del suelo, zonas semiáridas.

ABSTRACT: The effect of the intensity of land use on soil macroinvertebrate communities was investigated, as well as the sampling moment and the functionality of macrofaunistic indicators, under semi-arid conditions in the province of Santa Elena; an area in the process of desertification and located in the coastal region of Ecuador. Two sampling moments at the beginning of the rainy season and two land use systems, a Regenerated Tropical Dry Forest (BSTR) and a Short Cycle Crop (CCC) were evaluated. Macroinvertebrates were collected according to the TSBF methodology, and their richness, diversity and abundance were determined, as well as the functional indicator Detritivores/No Detritivores. The statistical analysis through the Stats package of R Core Team, mainly contemplated the non-parametric Kruskal-Wallis test. No significant differences were found between the sampling times, which made it possible to consider both samplings as one within the study period. The lower values of richness, diversity and abundance of the edaphic macrofauna, as well as the substantial decrease of the entire food web in the CCC with respect to the BSTR, responded to the negative impact of intense soil management and the lack of plant cover. The result of the Detritivores/No Detritivores indicator, with close proportions between its components in both use systems and with a lower value in the BSTR, indicated an instability in the edaphic environment mainly due to the semiarid conditions in the region.

KEY WORDS: biondicators, semiarid zones, soil macroinvertebrates, tropical dry forest.

✉ Grisel de la C. Cabrera Dávila
grisel17@ecologia.cu

Received: September 05, 2022

Accepted: October 12, 2022



Este es un artículo publicado en acceso abierto
bajo una licencia Creative Commons



<https://cu-id.com/2403/n513e15>

INTRODUCCIÓN

La biota edáfica es altamente susceptible a perturbaciones del hábitat, permitiendo así inferir de forma rápida y práctica la calidad del medio edáfico y el impacto ejercido por diferentes usos de la tierra. En particular, la macrofauna edáfica es considerada un excelente indicador biológico debido a su importante función ecológica y efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo (Gedoz *et al.*, 2021; Rousseau *et al.*, 2010; Ruiz *et al.*, 2011; Velasquez *et al.*, 2007).

La macrofauna edáfica incluye macroinvertebrados mayores de 2mm de diámetro, funcionalmente diferenciados por sus hábitos alimentarios en detritívoros, herbívoros, depredadores y omnívoros. Los organismos detritívoros, se encargan de fragmentar los restos vegetales y animales que forman la hojarasca, los herbívoros actúan como consumidores de material vegetal vivo, los depredadores consumen invertebrados y pequeños vertebrados vivos, y los omnívoros se alimentan de todo tipo de material de origen vegetal y animal, vivo o muerto (Cabrera-Dávila *et al.*, 2011).

En zonas predominantemente húmedas se ha establecido que la conversión de bosques naturales en pastizales o cultivos agrícolas perjudica la sucesión forestal natural, con un consecuente retroceso hacia estadios de inmadurez, simplicidad e inestabilidad, y afectación de las comunidades de macroinvertebrados edáficos. Atributos del suelo como materia orgánica, agregación, porosidad, disponibilidad de agua y nutrientes, son a su vez afectados por la composición de estas comunidades (Ayuke, 2010; Bautista *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2018).

En bosques tropicales húmedos es típico encontrar altos valores de riqueza taxonómica, diversidad y abundancia de la macrofauna, cuando se comparan con ecosistemas bajo otros usos de la tierra (De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012; Suárez *et al.*, 2018; Vasconcellos *et al.*, 2013). En estos bosques, la diversa composición vegetal, la elevada calidad y abundancia de la hojarasca y la menor variación microclimática asociada a la cobertura del suelo, respaldan estos resultados (Lavelle *et al.*, 2003). También ante estas particularidades, los grupos funcionales de la macrofauna mayormente favorecidos son los detritívoros de la hojarasca y los ingenieros del suelo (Brévault *et al.*, 2007; Cabrera-Dávila y López-Iborra, 2018; Duran-Bautista y Suárez-Salazar, 2013; Gómez-Pamies, 2016).

En regiones tropicales de climas áridos y semiáridos son escasos los estudios que han abordado las comunidades de macroinvertebrados edáficos, las cuales pueden encontrarse limitadas en su desarrollo por el efecto de múltiple estrés

abióticos (déficit de humedad, altas temperaturas, acumulación de sales minerales y bajos niveles de hojarasca). En estos ambientes, la baja producción de biomasa, su calidad y las altas tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo dan lugar a una baja entrada de hojarasca, característica de ecosistemas frágiles (Fialho *et al.*, 2021). Además, en condiciones áridas y semiáridas las alteraciones en el comportamiento de las precipitaciones pueden influir en el establecimiento de la edafofauna, ya que el efecto del aumento de las lluvias es mayor que su disminución, a diferencia de las regiones húmedas (Cheng *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021). No obstante, determinadas prácticas como la agricultura bajo regadío, acompañada del uso de enmiendas orgánicas y la actividad de las plantas puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Hannachi *et al.*, 2015). De lo anterior puede esperarse una mayor variabilidad de las comunidades edáficas en regiones de tales características, y también un efecto positivo de la agricultura en dependencia del manejo.

El uso de la macrofauna del suelo como bioindicador, ha abarcado la formulación de relaciones entre diferentes grupos taxonómicos y también índices más complejos, donde se han utilizado solo las características de esta fauna o mezclado variables biológicas, físicas y químicas, para indicar la calidad del medio edáfico (Barros *et al.*, 2002 en la Amazonia brasileña; Huerta *et al.*, 2008 en México; Rousseau *et al.*, 2010 y Vasconcellos *et al.*, 2013 en Brasil; Ruiz *et al.*, 2011 en Francia; Velasquez *et al.*, 2007 en Colombia y Nicaragua). Recientemente en Cuba, se proponen relaciones biológicas basadas en las abundancias de diferentes grupos taxonómicos o funcionales para evaluar el impacto del uso de la tierra y la calidad del suelo, a partir de las respuestas antagónicas que manifiestan tales grupos ante los cambios en el hábitat (Cabrera-Dávila *et al.*, 2017).

El indicador propuesto para Cuba Detritívoros/No Detritívoros, explica que cuando existe una abundancia alta o superior de organismos Detritívoros, con valores del índice cercanos o mayores que uno, los sistemas tienen poca o ninguna alteración en el ambiente edáfico y un posible estado favorable de fertilidad. Sin embargo, un resultado inverso, con predominio de organismos No Detritívoros y valores del índice por debajo de uno y cercanos a cero, indica sistemas con un impacto negativo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cabrera-Dávila *et al.*, 2017).

En el presente estudio se caracteriza la macrofauna edáfica, con el fin de constatar el momento de muestreo con relación a la temporada de lluvias y la funcionalidad del indicador macrofaunístico Detritívoros/No Detritívoros, en

diferentes sistemas de uso de tierra bajo condiciones semiáridas en la Península de Santa Elena, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA Y SISTEMAS DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en el Centro de Apoyo Manglaralto (-1.84317°N; -80.74257°W WGS84), que se sitúa en una llanura costera en la parroquia del mismo nombre al norte de la provincia Santa Elena, con una extensión de 22,34 ha. El clima tiene características de seco y cálido con nulo exceso hídrico (Andrade y Francisco, 2017), con promedios de lluvias de 300 a 400 mm y una evaporación promedio anual de 1949 mm. Clasifica como clima desértico (BSH) por el sistema Köppen-Geiger, con temperatura media de 24,6 °C, máximas en marzo de 26 °C y promedio de lluvia anual de 385 mm. El período lluvioso se presenta de enero a abril-mayo, y pueden ocurrir lluvias intensas relacionadas a eventos ENOS (El Niño Oscilación Sur).

Los suelos se clasifican como Fluventic Eutrudepts (Soil Survey Staff, 2006), con textura franco a franco-arcillosa, materia orgánica baja y media para la región Costa, y con valores de conductividad eléctrica fluctuantes, que ascienden en la estación seca con valores medios de 0,91 a 2,32 dSm⁻¹ en los meses de diciembre y mayo, respectivamente (Lino-Suárez et al., 2019).

Dentro del Centro de Manglaralto se estudiaron dos sistemas de uso de la tierra: un bosque seco tropical en regeneración y un cultivo con manejo agrícola convencional para la zona.

El bosque seco tropical estudiado se encuentra en proceso de regeneración natural, estable luego de 30 años sin actividad antrópica. Ocupa un área aproximada de 4 ha, con vegetación tropical semiverde no primigenia, dominada por especies como guayacán amarillo (*Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S. Grose), caimito (*Chrysophyllum cainito* L.), leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) y muyuyo (*Cordia lutea* L.), de entre 5 y 15 m de altura. El suelo está provisto de una capa de hojarasca y ramas caídas. Según la denominación de bosque seco tropical mencionada por Murphy y Lugo (1986), consiste en un ecosistema de bosque caducifolio y semicaducifolio, que se caracteriza por árboles sin hojas en la época seca, por períodos de entre cinco y seis meses.

El sistema de cultivo convencional abarca un área de 3,4 ha y es explotado desde el 2012, con especies de ciclo corto como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) y melón (*Cucumis melo* L.). La actividad agrícola en esta área se caracteriza por el uso de labranza mecánica de baja

intensidad, fertilización química y riego por goteo. Ocasionalmente se observa una fina capa de hojarasca en el suelo, dada por la presencia de árboles como pechiche (*Vitex cymosa* Bertero ex Spreng.), cedro (*Cedrela odorata* L.) y laurel (*Laurus nobilis* L.). Entre las malezas predominantes se destacan el amaranto (*Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.), el coquito (*Cyperus rotundus* L.), la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton) y la escobilla (*Parthenium hysterophorus* L.).

MUESTREO Y PROCESAMIENTO DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

Para el estudio de la macrofauna se realizaron dos muestreos matutinos a inicios del período lluvioso, en la primera (M1) y cuarta semana (M2) de febrero de 2020. El muestreo se realizó según la metodología estándar descrita por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical o TSBF (Anderson e Ingram, 1993; Moreira et al., 2012). Utilizando un muestreo aleatorio estratificado en cada sistema de uso de la tierra, se examinaron 16 monolitos de suelo de 25 x 25 cm y 30 cm de profundidad, con una distancia mínima de 5 m entre sí.

Cada monolito de suelo o unidad básica de muestreo se depositó en una manta de polietileno y se procedió a la recolección manual *in situ* de todos los organismos visibles, con auxilio de pinzas suaves y pinceles. Los organismos recolectados se preservaron en frascos plásticos con tapas, en solución de alcohol etílico al 70%, y formaldehído al 4% en el caso de las lombrices de tierra.

Una vez en el laboratorio se procedió a la identificación de la macrofauna recolectada, hasta los niveles taxonómicos de orden y familia principalmente (Brusca y Brusca, 2003; Brusca et al., 2016). Se halló la riqueza de familias y también la densidad de la macrofauna total y de los grupos funcionales (detritívoros, herbívoros, depredadores y omnívoros), a partir de la abundancia o número de individuos por unidad de área (ind.m⁻²).

Se confeccionaron las curvas de rango de abundancia por sistema estudiado, a partir del Log₁₀ del número de individuos o abundancia relativa (pi) de las familias encontradas, para el análisis de la riqueza, dominancia y diversidad de la macrofauna en cada sistema de uso. Se determinaron, además, los índices de diversidad de Shannon (H'), riqueza (S), dominancia de Simpson (D) y equitatividad de Pielou (J') (Magurran, 2004), y se representaron mediante histogramas de frecuencias superpuestos al diagrama de caja y bigote, con el fin de detectar multimodalidad en los conjuntos de observaciones.

Se empleó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, para determinar si existían diferencias entre

los momentos de muestreo, densidad entre grupos funcionales para cada sistema estudiado, así como entre sistemas para los diferentes gremios funcionales y la macrofauna total. Se construyeron diagramas de cajas para reflejar las posibles diferencias entre los momentos de muestreo y entre los grupos funcionales en cada ecosistema. Estos diagramas mostraron el 50 % de los datos centrales o IQR (cuartiles Q3-Q1), los valores menores que Q1 y mayores que Q3 (extremos de las cajas), y los valores máximos y mínimos sin valores atípicos u outliers (límites de segmentos verticales). También exhibieron las medianas (líneas en el interior de las cajas), las medias (cuadrados) y las observaciones individuales (círculos coloreados).

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el paquete Stats de **R Core Team (2020)**. Para el procesamiento de la curva abundancia vs rango, índices de diversidad y otros indicadores faunísticos, se emplearon los paquetes BiodiversityR (**Kindt y Coe, 2005**) y Vegan (**Oksanen et al., 2022**). Para evaluar el impacto del uso y manejo del suelo en los sistemas estudiados y la calidad del medio edáfico, se aplicó el indicador biológico o faunístico Detritívoros/No Detritívoros (**Cabrera-Dávila et al., 2017**), el cual se reflejó a través de un gráfico con las proporciones de las abundancias de dichos grupos.

RESULTADOS

EFFECTO DEL MOMENTO DE MUESTREO

Se encontraron diferencias significativas entre los usos en cada momento de muestreo considerado individualmente, con (H/p-valor) 4,871/0,027 en el primer muestreo y 8,776/0,003 en el segundo, de acuerdo con una prueba Kruskal-Wallis. Sin embargo, el momento de muestreo no presentó un efecto significativo sobre la densidad de la macrofauna total en los sistemas de uso de la tierra estudiados (**Fig. 1**). Los muestreos correspondientes a la primera y cuarta semana de febrero se ubicaron a inicios de la temporada lluviosa, en los momentos de máxima pluviometría (febrero-marzo), con acumulados históricos por encima de 150 mm mensuales.

COMPOSICIÓN, RIQUEZA, DOMINANCIA Y DIVERSIDAD DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

La composición taxonómica de la macrofauna para ambos sistemas de uso de la tierra en la región estudiada, totalizó dos filos, seis clases y 14 órdenes. A niveles taxonómicos inferiores se pudieron separar 27 familias, y nombrar solo 20 géneros y nueve especies (**Tabla 1**).

Según el análisis de la composición taxonómica (**Tabla 1**) y las curvas de rango de abundancia (**Fig.2**),

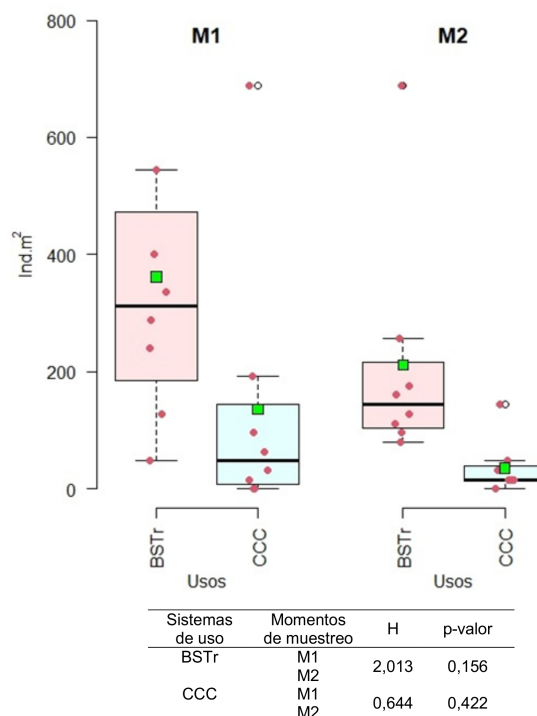


FIGURA 1. Diagrama de cajas y resultados de la prueba Kruskal-Wallis (H; n=8; g.l.=1) para la densidad de la macrofauna (Ind.m⁻²) en dos momentos de muestreo (M1: primera semana y M2: cuarta semana de febrero) y dos sistemas de uso de la tierra en Santa Elena, Ecuador (BSTR: Bosque Seco Tropical regenerado y CCC: Cultivo de Ciclo Corto). En cuadro auxiliar se muestran Chi-cuadrado Kruskal-Wallis (H) y probabilidad asociada a la prueba; p-valor> 0,05 refleja que las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas.

FIGURE 1. Box plot and results of the Kruskal-Wallis test (H; n=8; g.l.=1) for the density of the macrofauna (Ind.m⁻²) at two sampling moments (M1: first week and M2: fourth week of February) and two land use systems in Santa Elena, Ecuador (BSTR: Regenerated Tropical Dry Forest and CCC: Short Cycle Crop). Kruskal-Wallis chi-square (H) and probability associated with the test are shown in the auxiliary table; p-value> 0.05 reflects that the differences between the medians are not statistically significant.

la riqueza de familias fue mayor en el bosque (BSTR: 20 familias) que en el cultivo (CCC: 16 familias). Igualmente, las familias dominantes en el bosque consistieron en familias de insectos sociales, Formicidae (hormigas) y Termitidae (termitas). También en el sistema de cultivo dominaron estas mismas familias, aunque en primera instancia y con un predominio más marcado las termitas con respecto a las hormigas. La curva correspondiente al bosque reflejó una distribución más uniforme de las abundancias en una mayor cantidad de taxones de la

TABLA 1. Composición taxonómica y funcional de las comunidades de la macrofauna edáfica en dos sistemas de uso de la tierra en Santa Elena, Ecuador (BSTR: Bosque Seco Tropical regenerado y CCC: Cultivo de Ciclo Corto). (-): No determinado, (x): Presencia del taxón.

TABLE 1. Taxonomic and functional composition of the edaphic macrofauna communities in two land use systems in Santa Elena, Ecuador (BSTR: Regenerated Tropical Dry Forest and CCC: Short Cycle Crop). (-): Not determined, (x): Presence of the taxon.

Nombre común	Phylum	Orden	Género	Grupo Funcional	Sistemas de uso de la tierra	
	Clase	Familia	Especie		BSTR	CCC
		Subfamilia*				
Lombrices	Annelida	Haplotaxida	-	Detritívoro	x	x
	Clitellata	-				
Cochinillas	Arthropoda	Isopoda	<i>Armadillidium</i>	Detritívoro	x	
	Malacostraca	Armadillidae	<i>A. vulgare</i>			
		Isopoda	-	Detritívoro		x
		Platyarthridae				
Milpiés	Arthropoda	Polyxenida	-	Detritívoro		x
	Diplopoda	Lophoproctidae				
		Polydesmida	-	Detritívoro		x
		Paradoxosomatidae				
Ciempíes	Arthropoda	Geophilomorpha	-	Depredador	x	x
	Chilopoda	Geophilidae	<i>Geophylus</i>	Depredador	x	
			<i>G. carpophagus</i>			
		Scolopendromorpha	-	Depredador		x
		Scolopendridae				
Arañas	Arthropoda	Araneae	<i>Gnaphosa</i>	Depredador	x	x
	Arachnida	Gnaphosidae	-			
		Araneae	-	Depredador	x	x
		Lycosidae				
		Araneae	-	Depredador	x	x
		Corinnidae				
		Araneae	-	Depredador	x	
		Clubionidae				
		Araneae	-	Depredador		x
		Oonopidae				
Hormigas	Arthropoda	Hymenoptera	<i>Ectatomma</i>	Depredador	x	x
	Insecta	Formicidae	<i>E. edentatum</i>			
			<i>Monomorium</i>	Omnívoro	x	x
			<i>M. minimum</i>			
			<i>Wasmannia</i>	Omnívoro	x	x
			<i>W. auropunctata</i>			
			<i>Brachymyrmex</i>	Omnívoro	x	
			-			
			<i>Crematogaster</i>	Omnívoro	x	
			-			
			<i>Forelius</i>	Omnívoro	x	
			-			
			<i>Acromyrmex</i>	Herbívoro	x	
			-			
Termitas	Arthropoda	Isoptera	-	Detritívoro	x	x
	Insecta	Termitidae				

Nombre común	Phylum	Orden	Género	Grupo Funcional	Sistemas de uso de la tierra	
	Clase	Familia	Especie		BSTr	CCC
		Subfamilia*				
Oruga	Arthropoda	Lepidoptera	-	Herbívoro	x	x
	Insecta	Erebidae				
Escarabajos	Arthropoda	Coleoptera	<i>Paederus</i>	Depredador	x	
	Insecta	Staphylinidae	-			
			<i>Rybaxis</i>	Depredador	x	
			<i>R. mystica</i>			
			<i>Stenus</i>	Depredador	x	
			<i>S. cicindeloides</i>			
		Coleoptera	<i>Canthon</i>	Omnívoro	x	
		Scarabaeidae	-			
			<i>Phyllophaga</i>	Herbívoro	x	
			-			
		Coleoptera	<i>Chrysolina</i>	Herbívoro	x	
		Chrysomelidae	-			
		Coleoptera	<i>Agriotes</i>	Herbívoro		x
		Elateridae	-			
		Coleoptera	-	Herbívoro	x	
		-				
		Coleoptera	-	Herbívoro	x	
		-				
Chinches	Arthropoda	Hemiptera	-	Herbívoro	x	
	Insecta	Rhyparochromidae				
		Hemiptera	-	Herbívoro		x
		Miridae				
Cucarachas	Arthropoda	Blattodea	<i>Pycnoscelus</i>	Omnívoro	x	
	Insecta	Blaberidae	<i>P. surinamensis</i>			
		Blattodea	-	Omnívoro	x	
		Blattidae				
		Blattodea	-	Omnívoro	x	
		Blattellidae				
Grillo	Arthropoda	Orthoptera	<i>Acheta</i>	Omnívoro	x	x
	Insecta	Gryllidae	<i>A. domesticus</i>			
			<i>Anaxipha</i>	Herbívoro	x	
			-			

macrofauna. Esto junto con una riqueza superior en este sistema, aunque con leve diferencia respecto al sistema de cultivo, confirmó una diversidad mayor en el bosque seco tropical regenerado en comparación con el cultivo de ciclo corto y de manejo convencional. Los índices de diversidad determinados corroboraron de modo general tales resultados. Asimismo, estos índices representados mediante los histogramas de frecuencias, curvas de densidad y diagramas de cajas, muestran que los conjuntos de datos son generalmente asimétricos y en algunos casos multimodales, con una gran dispersión, reflejo de la alta variabilidad típica de este tipo de observaciones (Fig. 2).

DENSIDAD DE GRUPOS FUNCIONALES Y MACROFAUNA TOTAL

El análisis de la densidad en cada uno de los sistemas estudiados en función del estadístico Kruskal-Wallis, reveló diferencias significativas entre la densidad de los grupos funcionales en el bosque ($H=8,4$, $p= 0,03$), pero no así en el cultivo ($H=3,05$, $p= 0,38$). También, mediante este estadístico, la densidad de individuos entre los sistemas de uso, mostró diferencias significativas para la macrofauna total y casi todos los grupos funcionales, a excepción de los herbívoros. Los grupos funcionales mejor representados en el bosque fueron los detritívoros

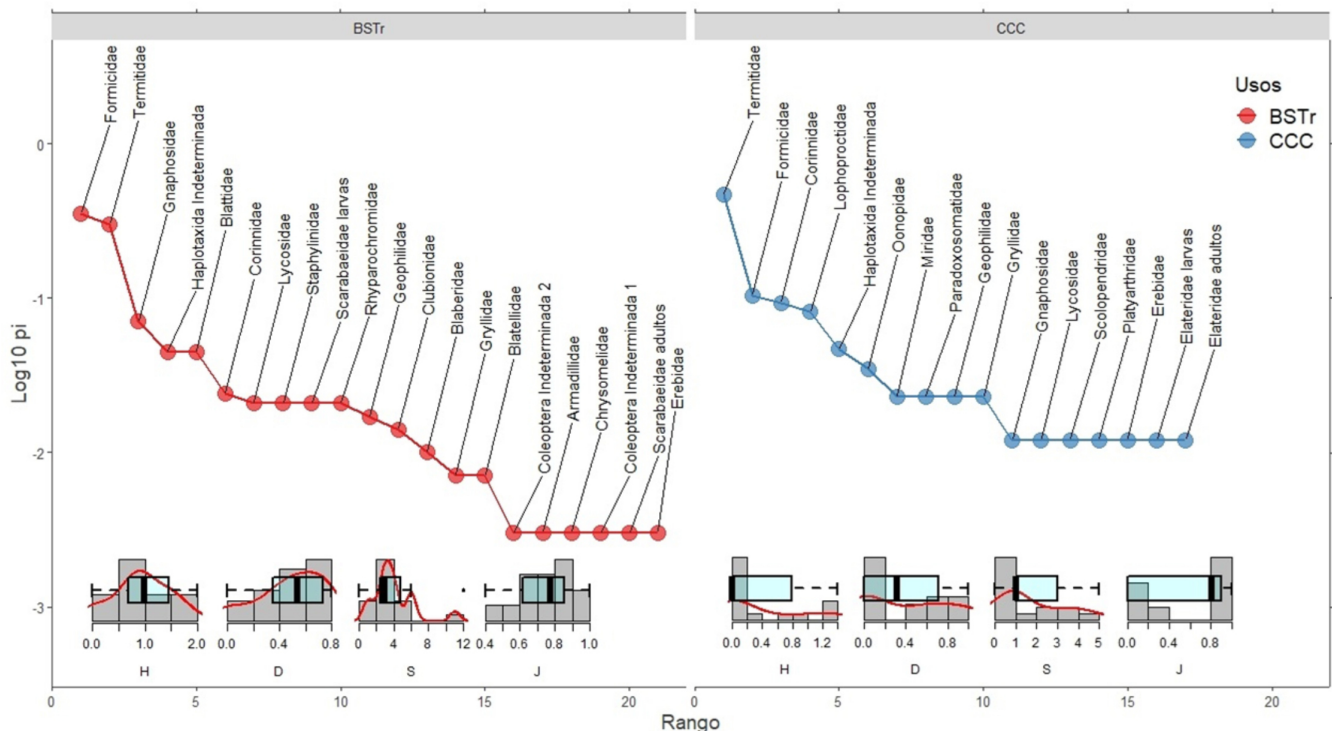


FIGURA 2. Curvas de rango/abundancia e Índices de diversidad de la macrofauna edáfica (H': índice de diversidad Shannon, D: índice de dominancia Simpson, S: índice de riqueza, J: índice de equitatividad Pielou), en los sistemas de uso de la tierra estudiados en Santa Elena, Ecuador (BSTr: Bosque Seco Tropical regenerado, CCC: Cultivo de Ciclo Corto).

FIGURE 2. Range/abundance curves and diversity indices of the edaphic macrofauna (H': Shannon's diversity index, D: Simpson's dominance index, S: richness index, J: Pielou's evenness index) in the land use systems studied in Santa Elena, Ecuador (BSTr: Regenerated Tropical Dry Forest, CCC: Short Cycle Crop).

(119 ind.m⁻²) y omnívoros (88 ind.m⁻²), y los más deprimidos los depredadores (61 ind.m⁻²) y herbívoros (19 ind.m⁻²); mientras que en el cultivo se destacaron fundamentalmente los detritívoros (54 ind.m⁻²) y depredadores (16 ind.m⁻²), con respecto a los restantes gremios (herbívoros: 7 ind.m⁻², omnívoros: 9 ind.m⁻²). Se observa una disminución sustancial de la densidad de detritívoros en el cultivo de ciclo corto (CCC), en comparación con el bosque seco tropical regenerado (BSTr), así como del resto de la trama trófica y de la macrofauna total (BSTr: 287; CCC: 86 ind.m⁻²) (Fig. 3).

Por otra parte, para el bosque los grupos más abundantes como organismos detritívoros fueron las termitas de la familia Termitidae; como depredadores las arañas de la familia Gnaphosidae; como herbívoros los coleópteros y las chinches de las familias Scarabaeidae y Rhyparochromidae, respectivamente; y en el caso de los omnívoros, las hormigas (Formicidae). En el cultivo, los grupos de mayor importancia dentro de los detritívoros fueron del mismo modo las termitas; dentro de los

depredadores, las arañas de la familia Corinnidae; y dentro de los omnívoros también las hormigas. Con respecto a los herbívoros, fueron las chinches de la familia Miridae y los grillos de la familia Gryllidae, ambos grupos igualmente representados (Fig. 2).

INDICADOR BIOLÓGICO DETRITÍVOROS/NO DETRITÍVOROS DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

El resultado descrito con anterioridad sobre la reducción de toda la trama trófica en el cultivo de ciclo corto con respecto al bosque seco tropical regenerado, se manifiesta en la Figura 4; donde se agrupan todos los gremios funcionales de la macrofauna total (Detritívoros y No Detritívoros: Depredadores, Herbívoros y Omnívoros). El índice Detritívoros/No Detritívoros reflejó un valor por debajo de uno en el caso del bosque y por encima de uno en el cultivo. Además, se observaron pocas diferencias entre las abundancias de organismos detritívoros y no detritívoros en ambos sistemas de uso (Fig. 4).

DISCUSIÓN

EFECTO DEL MOMENTO DE MUESTREO

La ausencia de diferencias significativas entre los momentos de muestreo realizados al inicio del periodo lluvioso respecto a la densidad de la macrofauna edáfica, indica que los muestreos en diferentes fechas para este periodo pueden ser considerados en conjunto, en presencia de lluvias con un comportamiento en el entorno de la variabilidad típica interanual para el periodo húmedo ($\pm 50\%$), con baja incidencias de anomalías. Las anomalías positivas (aumento de las lluvias) se relacionan frecuentemente en la región Costa ecuatoriana con eventos ENOS en su fase caliente de “El Niño” (Proaño, 2017).

En función de dichos resultados se definió para los análisis posteriores de esta investigación, tratar ambos muestreos como uno solo, representativo del periodo en estudio. Por otra parte, se debe valorar la conveniencia de realizar el estudio de la macrofauna edáfica al final del periodo de lluvias, pues es el momento en que se encuentran los niveles más altos de actividad de esta fauna, según plantean Moreira *et al.* (2012).

COMPOSICIÓN, RIQUEZA, DOMINANCIA Y DIVERSIDAD DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

La dominancia de taxones cumplió con la generalidad descrita en la literatura, donde las hormigas y las termitas se señalan entre los organismos más abundantes dentro de la macrofauna edáfica (Brown *et al.*, 2001; Lavelle *et al.*, 1998). Diversos autores resaltan la superioridad de las hormigas, las cuales constituyen entre el 19-82 % en cuanto a su abundancia en muchos tipos de ecosistemas como bosques regenerados, sistemas agroforestales, espacios verdes urbanizados y cultivos agrícolas; y en el caso de las termitas constituyen entre el 27-50% en bosques naturales y secundarios, pastizales, sistemas silvopastoriles y policultivos (Bao-Ming *et al.*, 2012; De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012; Fialho *et al.*, 2021; Gómez-Pamies, 2016; Lavelle *et al.*, 2014; Marichal *et al.*, 2014; Pauli *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2017; Rousseau *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2016; Suárez-Salazar *et al.*, 2015; Tapia-Coral *et al.*, 2016).

La mayor riqueza y diversidad encontrada en el bosque seco tropical regenerado respondió a su mayor estado de preservación y variedad de especies arbóreas y arbustivas. En general los bosques, con respecto a otros ecosistemas, aunque sean de regeneración natural como es el caso de este estudio, presentan una composición vegetal diversa y una capa de hojarasca, la cual al depositarse en el suelo

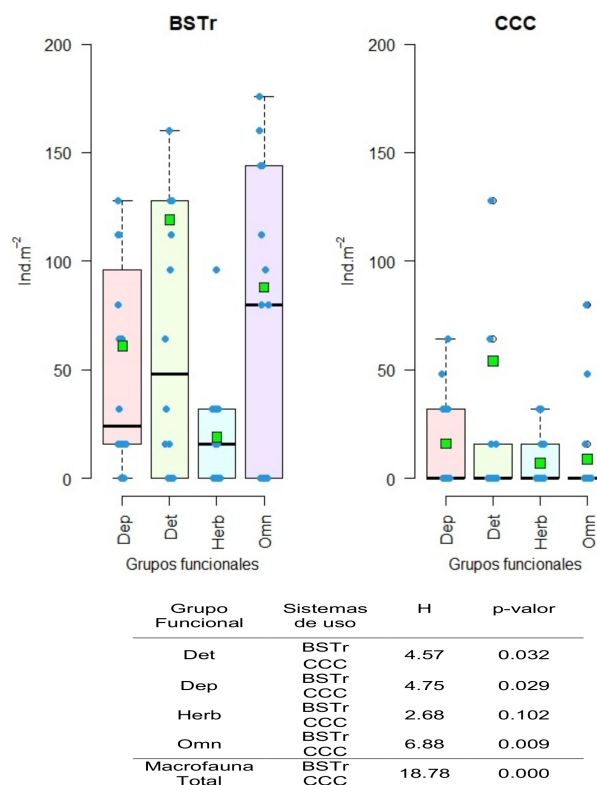


FIGURA 3. Diagrama de cajas y resultados de la prueba Kruskal-Wallis (H; g.l.=1) para la densidad (Ind.m⁻²) de los diferentes grupos funcionales (n=16, Det: Detritívoros, Dep: Depredadores, Herb: Herbívoros, Omn: Omnívoros) y la macrofauna total (n=16) entre los sistemas de uso de la tierra estudiados en Santa Elena, Ecuador (BSTr: Bosque Seco Tropical regenerado y CCC: Cultivo de Ciclo Corto). En cuadro auxiliar se muestran Chi-cuadrado Kruskal-Wallis (H) y probabilidad asociada a la prueba; p-valor < 0,05 refleja que las diferencias entre las medianas son estadísticamente significativas.

FIGURE 3. Box plot and results of the Kruskal-Wallis test (H; g.l.=1) for the density (Ind.m⁻²) of the different functional groups (n=16, Det: Detritivores, Dep: Predators, Herb: Herbivores, Omn: Omnivores) and the total macrofauna (n=16) between the land use systems studied in Santa Elena, Ecuador (BSTr: Regenerated Tropical Dry Forest and CCC: Short Cycle Crop). Kruskal-Wallis chi-square (H) and probability associated with the test are shown in the auxiliary table; p-value < 0.05 reflects that the differences between the medians are statistically significant.

como mantillo crea un microclima favorable, y sirve de microhábitat y alimento para muchos organismos de la fauna edáfica (Caicedo-Rosero *et al.*, 2018; De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012; Zerbino *et al.*, 2008).

En el caso del área de cultivo estudiado, la menor diversidad obtenida obedeció a que este predio se dedica a la siembra de productos de ciclo corto, y en ocasiones los suelos se encuentran totalmente

descubiertos. Por otro lado, este sistema estuvo sujeto a la labranza mecánica y aplicaciones de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas y plaguicidas), características todas que pueden incidir en la degradación progresiva del ambiente edáfico y sobre todo de sus comunidades biológicas (Cheng *et al.*, 2021).

En condiciones áridas y semiáridas debe esperarse que la diversidad taxonómica se relacione estrechamente con la cobertura vegetal, tanto en los bosques como en los cultivos. Los bosques intervenidos pueden exhibir bajas coberturas en dependencia de si su restauración es pasiva o activa, siendo esta última más adecuada para ecosistemas frágiles. La disminución de la cobertura reducirá drásticamente la disponibilidad de alimento y condicionará determinadas variables edáficas como la temperatura, la humedad, y el estatus nutricional, que adquieren importancia en el desarrollo de los macroinvertebrados (Cabrera-Dávila y López-Iborra, 2018; Zerbino, 2010; Zerbino *et al.*, 2008). Otro aspecto a destacar en este sentido, además de la cantidad de residuos orgánicos que se aportan, es la calidad de los residuos, generalmente más lignificados en los ecosistemas estudiados, donde determinados grupos de la macrofauna como las termitas tienen ventajas gracias a su capacidad simbiótica para la degradación de la lignocelulosa (Brune, 2014; Miguel *et al.*, 2020).

Alves *et al.* (2016) en sus estudios en ecosistemas semiáridos de Brasil, plantean que el uso intensivo del sistema puede modificar el equilibrio y alterar el abastecimiento de alimento, la formación de microambientes y la competencia intra e interespecífica, afectando la diversidad de la fauna edáfica. Estos autores al comparar el ecosistema de Caatinga conservada con un agroecosistema sometido a barbecho durante 17 años, en descanso y sin intervención antrópica, encuentran mayores índices de riqueza, diversidad y equitatividad de la fauna edáfica en el agroecosistema, lo que evidencia el beneficio del tiempo de barbecho para la recolonización de la edafofauna. Asimismo, resultados obtenidos en sistemas agrícolas en tierras secas de las llanuras de Colorado, demuestran que las poblaciones de macroinvertebrados son mayores con la disminución del barbecho desnudo, que implica la cobertura y protección del suelo (Kelly *et al.*, 2020).

Hasta el momento para zonas semiáridas de Ecuador no existen antecedentes en la temática, aunque se pueden señalar pocas investigaciones en otras áreas como en ecosistemas alto andinos de la zona norte, con precipitaciones entre 1 200 y 2 000 mm, superiores a las de la región de estudio (Caicedo-Rosero *et al.*, 2018; 2021). Para esta parte del Ecuador, se encuentra un efecto positivo de la evolución de sistemas silvopastoriles con diferentes

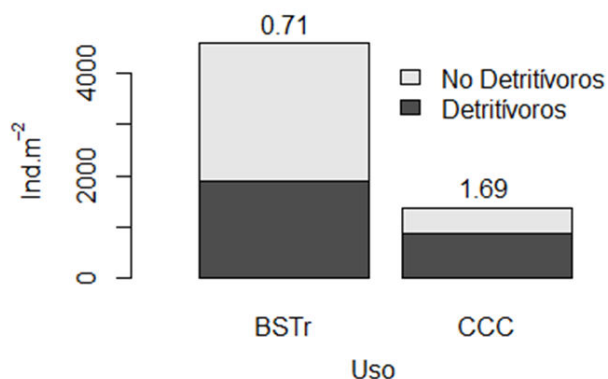


FIGURA 4. Indicador Detritivos/No Detritivos de la macrofauna edáfica en los sistemas de uso de la tierra estudiados en Santa Elena, Ecuador (BSTR: Bosque Seco Tropical regenerado y CCC: Cultivo de Ciclo Corto). Números encima de las barras representan el valor del índice.

FIGURE 4. Detritivores/No Detritivores indicator of the edaphic macrofauna in the land use systems studied in Santa Elena, Ecuador (BSTR: Regenerated Tropical Dry Forest and CCC: Short Cycle Crop). Numbers above the bars represent the index value.

tiempos de establecimiento, sobre la diversidad de las comunidades edáficas; por lo que se recomienda la replicación de estos sistemas en zonas andinas con monocultivo de pasto.

Varios trabajos en el trópico húmedo exponen valores altos de riqueza taxonómica y diversidad de la macrofauna en ecosistemas de bosques, con relación a otros usos de la tierra altamente manejados (Cabrera-Mireles *et al.*, 2019; Duran-Bautista *et al.*, 2018; Marichal *et al.*, 2014; Murillo-Cuevas *et al.*, 2019; Prayogo *et al.*, 2019; Rousseau *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2016). En otras investigaciones, donde se evaluaron bosques, pastizales con pastoreo, plantaciones y cultivos, se encontraron hasta 27 órdenes de macroinvertebrados y se observó una mayor diversidad en los bosques al comparar con los sistemas de producción, así como un predominio de oligoquetos terrestres y artrópodos. Entre los artrópodos, las termitas y hormigas fueron los grupos más abundantes llegando a conformar más del 85% de la macrofauna recolectada (Gómez-Pamies, 2016; Montenegro *et al.*, 2017; Rousseau *et al.*, 2013).

DENSIDAD DE GRUPOS FUNCIONALES Y MACROFAUNA TOTAL

La reducción de la densidad de todos los grupos funcionales y de la macrofauna total en el cultivo con respecto al bosque, puede atribuirse a las transformaciones en las condiciones ambientales del

suelo, originadas por la actividad agrícola y la consecuente destrucción mecánica de los microhábitats en este sistema (Cabrera-Dávila *et al.*, 2011; Zerbino *et al.*, 2008). Estos autores también enfatizan que fundamentalmente los detritívoros, como individuos desprotegidos en la superficie y primeros centímetros del suelo, se reducen drásticamente por las variaciones bruscas en las condiciones de temperatura y humedad de este, debido a la menor cobertura y cantidad de residuos, y a una mayor exposición a la radiación solar en los ecosistemas alterados. En cambio, en los bosques, como sistemas diversificados y estables, estos organismos se favorecen en función de la cobertura vegetal diversa, de una capa de hojarasca más heterogénea, un mayor nivel de macronutrientes en el suelo y un incremento de los recursos a ser aprovechados por los mismos (Brévault *et al.*, 2007; Coimbra-Manhães *et al.*, 2013; Gómez-Pamies, 2016; Masin *et al.*, 2017; Pinzón *et al.*, 2015).

Los valores de las densidades promedio observadas en ambos sistemas fueron menores a los registrados en otras investigaciones, por ejemplo en Cuba (Cabrera-Dávila y López-Iborra, 2018; García *et al.*, 2014). En particular García *et al.* (2014), analizaron los sistemas de cultivos varios, sistemas agroforestales, pastizales y fincas agropecuarias, y obtuvieron una densidad promedio de la macrofauna total entre 38,9 y 347,7 ind.m⁻², principalmente en los cultivos varios (maíz, papa, calabaza) y sistemas agroforestales. Otros datos a nivel mundial muestran los valores más altos de densidad de la macrofauna en bosques naturales (106,3-3018,0 ind.m⁻²) con respecto a otros sistemas con un efecto perturbador sobre el medio edáfico, como sucede en los monocultivos y cultivos anuales (36,3-268,3 ind.m⁻²) (Coimbra-Manhães *et al.*, 2013; Marichal *et al.*, 2014; Rousseau *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2011; Tapia-Coral *et al.*, 2016).

Con respecto a la composición funcional de la macrofauna del suelo también se alcanzaron valores generalmente más bajos al comparar con otras investigaciones. En las provincias Artemisa y Mayabeque en Cuba se encontraron en bosques secundarios 701 ind.m⁻² de detritívoros, 96 ind.m⁻² de depredadores y 38 ind.m⁻² de herbívoros, y en cultivos varios 28 ind.m⁻² de detritívoros, 18 ind.m⁻² de depredadores y 36 ind.m⁻² de herbívoros (Cabrera-Dávila *et al.*, 2011). Otras investigaciones describen mayores poblaciones del grupo funcional de detritívoros en bosques de formación primaria, secundaria y de baja degradación (76,8-2032,0 ind.m⁻²) con relación a sistemas de cultivos de Brasil, Colombia, Argentina y Nicaragua (11,2-1472 ind.m⁻²) (Coimbra-Manhães *et al.*, 2013; Duran-Bautista y Suárez-Salazar, 2013; Gómez-Pamies, 2016; Masin *et al.*, 2017; Noguera-Talavera *et al.*, 2018; Pinzón *et al.*, 2015).

INDICADOR BIOLÓGICO DETRITÍVOROS/NO DETRITÍVOROS DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

El resultado del indicador, que reflejó pocas diferencias entre las abundancias de los grupos funcionales en los sistemas de uso estudiados y específicamente un valor por debajo de uno en el BSTr, evidencia la influencia de las condiciones semiáridas en la región de estudio. Ambos sistemas de uso de la tierra se encuentran en una región de clima seco, con una precipitación media en los últimos años (1989-2018) entre 350 y 400 mm. El clima determina la temperatura y la humedad del suelo, factores que influyen sobre las características de las comunidades de invertebrados terrestres, pero en especial sobre el grupo funcional de detritívoros (Amazonas *et al.*, 2018; Cabrera-Mireles *et al.*, 2019).

Además de la humedad del suelo, los organismos descomponedores o detritívoros dependen o están fuertemente asociados a condiciones edáficas estables y de fertilidad, como son un alto contenido de materia orgánica; el cual también puede estar determinado por el clima en condiciones no alteradas. Los contenidos de materia orgánica para los ecosistemas estudiados se clasifican de medios a bajos para el BSTr (2,70-4,10 %) y bajos para el CCC (0,90-2,80%), según la clasificación para la región Costa de Ecuador. Dichas características quizás pudieron limitar un desarrollo estable de las comunidades biológicas del edafón; pues la materia orgánica significa una fuente energética que estimula la actividad de la biota en el suelo (De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012; Pinzón *et al.*, 2015; Vasconcellos *et al.*, 2013).

En particular para el sistema de cultivo, el predominio de detritívoros sobre no detritívoros y el valor del índice más alto con respecto al bosque, a pesar de su reducida comunidad de la macrofauna total, pudo estar en correspondencia con determinadas prácticas aplicadas en este sistema. La rotación de cultivos pudo causar modificación en el ambiente edáfico a través de las excreciones radiculares y entrada de detritos y raíces en el medio, además que la actividad de riego en este sistema pudo incidir en una mayor estabilidad en la humedad edáfica; todo lo cual contribuyó a la presencia de un número más alto de individuos detritívoros, que se pudieron favorecer ante las condiciones mencionadas (Hannachi *et al.*, 2015). Bajo características semiáridas, el cultivo puede mejorar los contenidos de materia orgánica y aumentar la fertilidad del suelo gracias al aumento en la producción de biomasa (García-Palacios *et al.*, 2019). Ello debe brindar mejores oportunidades para el desarrollo de hábitats y constituir en este sentido una ventaja para la mejora de la salud biológica del suelo (Kelly *et al.*, 2020).

También el resultado del índice con proporciones cercanas entre los grupos funcionales y con un valor más bajo en el sistema más estable con menor intensidad de manejo, como fue el bosque estudiado, mostró diferencias a lo obtenido en el trópico húmedo, específicamente en Cuba; donde este indicador Detritívoros/No Detritívoros fue declarado a partir de la evaluación de varios sistemas de uso de la tierra con diferente grado de conservación/perturbación. En dicha investigación, en los ecosistemas más conservados hubo un predominio de detritívoros sobre no detritívoros y valores del índice mayores que uno, indicando mejor calidad del suelo; y en sistemas con mayor grado de perturbación se encontró una superioridad de individuos no detritívoros y valores del índice cercanos a cero, indicando menor calidad del suelo (Cabrera-Dávila *et al.*, 2017).

Según los resultados obtenidos, se evidencia una inestabilidad en el medio edáfico para ambos sistemas estudiados, dada por un probable estrés hídrico o atributos no óptimos de humedad en el suelo, que pudieran obedecer a características propias de las condiciones áridas y semiáridas en la región; y también como reflejo del momento de estudio, a inicios del período lluvioso, que corrobora la pertinencia del muestreo en etapas más avanzadas de esta época.

CONCLUSIONES

El efecto no significativo del momento de muestreo al inicio de las lluvias sobre la densidad de la macrofauna edáfica, conlleva a valorar la conveniencia de estudiar estas comunidades al final del período lluvioso.

Los mayores valores de diversidad y abundancia en el BSTR se atribuyen a su estado de preservación y cobertura ofrecida por la variedad de especies arbóreas y arbustivas, y los menores valores en el CCC a la actividad agrícola intensa y la falta de cobertura vegetal encontrada en ocasiones.

La disminución sustancial de la densidad de detritívoros y del resto de la trama trófica en el CCC con respecto al BSTR, es resultado del impacto negativo del manejo intenso del suelo sobre la macrofauna edáfica.

Los valores del indicador Detritívoros/No Detritívoros cercano a uno en el BSTR y por encima de uno en el CCC, reafirma la importancia de la cobertura del suelo en ambos sistemas y del riego aplicado en el caso del CCC, para controlar la temperatura y humedad del suelo como factores que influyen en el desarrollo de los detritívoros.

El resultado del indicador con proporciones cercanas entre los grupos funcionales en los sistemas de uso estudiados y con un valor más bajo en el BSTR,

indica una inestabilidad en el medio edáfico, debido principalmente a las características semiáridas en la región.

Las diferencias en el comportamiento del indicador entre las condiciones semiáridas de estudio y lo obtenido en el trópico húmedo, acentúa el interés de continuar su análisis en ecosistemas de climas áridos y semiáridos.

AGRADECIMIENTOS. La investigación se realizó con financiamiento a cargo del proyecto “Evaluación de la fauna edáfica como bioindicador del impacto del uso de la tierra y de la calidad del suelo en la Península de Santa Elena, Ecuador” de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Se agradece a la Dra. Nadia Quevedo Pinos por la revisión realizada al manuscrito original.

REFERENCIAS

- Alves, F.I.V., Lima A.R.V. y Fialho, J.S. (2016). Fauna edáfica em agroecossistema semiarido com 17 anos de pousio. *Enciclopedia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 13(24), 1226-1239.
- Amazonas, N. T., Viani, R. A. G., Rego, M. G. A., Camargo, F. F., Fujihara, R. T. y Valsechi, O. A. (2018). Soil macrofauna density and diversity across a chronosequence of tropical forest restoration in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 78, 449-456. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.169014>.
- Anderson, J. M. y Ingram, J. S. I. (1993). Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. *Soil Science*, 157(4), 265.
- Andrade, T. y Francisco, F. (2017). *Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico en el área de influencia del Plan Hidráulico Acueducto de Santa Elena (PHASE) para consumo humano y uso agrícola*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/41530>.
- Ayuke, F. O. (2010). *Soil macrofauna functional groups and their effects on soil structure, as related to agricultural management practices across agroecological zones of Sub-Saharan Africa* [Tesis Doctoral, Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/138072>.
- Bao-Ming, G., Zhen-Xing, L., Dai-Zhen, Z., Hua-Bin, Z., Zong-Tang, L., Chun-Lin, Z. y Bo-Ping, T. (2012). Communities of soil macrofauna in green spaces of an urbanizing city at east China. *Revista chilena de historia natural*, 85(2), 219-226. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000200008>.
- Barros, E., Pashanasi, B., Constantino, R. y Lavelle, P. (2002). Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, 35(5), 338-347. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0479-z>.

- Bautista, F., Díaz-Castelazo, C. y García-Robles, M. (2009). Changes in soil macrofauna in agroecosystems derived from low deciduous tropical forest on Leptosols from Karstic zones. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 10, 185-187.
- Brévault, T., Bikay, S., Maldès, J. M. y Naudin, K. (2007). Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research*, 97(2), 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.09.006>.
- Brown, G. G., Fragoso, C., Rodríguez, C., Ordaz, V., Lavelle, P., Moreno, A., Bueno, J., Patrón, J., Rojas, P. y Barois, I. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 34.
- Brune, A. (2014). Symbiotic digestion of lignocellulose in termite guts. *Nature Reviews Microbiology*, 12(3), 168-180. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3182>.
- Brusca, R. y Brusca, G. (2003). *Invertebrates*. Second Edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. USA.
- Brusca, R.C, Moore, W. y Shuster M.S. (2016). *Invertebrates*. Third Edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. USA.
- Cabrera-Dávila, G. y López-Iborra, G. M. (2018). Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba. *Bosque (Valdivia)*, 39(3), 363-373. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000300363>.
- Cabrera-Dávila, G., Robaina, N. y Ponce de León, D. (2011). Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Functional composition of soil macrofauna in four land uses of Artemisa and Mayabeque provinces, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34(3), 331-346.
- Cabrera-Dávila, G., Socarrás-Rivero, A. A., Hernández-Vigoa, G., Ponce de León, D., Menéndez-Rivero, Y. I. y Sánchez-Rendón, J. A. (2017). Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 118-126.
- Cabrera-Mireles, H., Murillo, F., Adame, J. y Fernández-Viveros, J. (2019). Impacto del uso del suelo sobre la meso y macrofauna edáfica en caña de azúcar y pasto † [impact of land use on the edaphic meso and macrofauna in sugarcane and pasture]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 33-43.
- Caicedo-Rosero, D. M., Benavides-Rosales, H. R., Carvajal-Pérez, L. A., & Ortega-Hernández, J. P. (2018). Población de macrofauna en sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera: análisis preliminar. *La Granja*, 27(1), 77-85. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.06>.
- Caicedo-Rosero, D. M., Benavide-Rosales, H. R., Carvajal-Pérez, L. A. y Revelo-Salgado, G. (2021). Análisis de las poblaciones edáficas en suelos con sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera, en la finca San Vicente, El Carmelo, Ecuador. *Criterios* 28(2), 185-194.
- Cheng, J., Li, F. Y., Liu, X., Wang, X., Zhao, D., Feng, X. y Baoyin, T. (2021). Seasonal patterns of the abundance of ground-dwelling arthropod guilds and their responses to livestock grazing in a semi-arid steppe. *Pedobiologia*, 85-86, 150711. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150711>.
- Coimbra-Manhães, C., Gama-Rodrigues, E., Moço, M. y Gama-Rodrigues, A. (2013). Meso- and macrofauna in the soil and litter of leguminous trees in a degraded pasture in Brazil. *Agroforestry Systems*, 87. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9614-0>.
- De la Rosa, I. y Negrete-Yankelevich, S. (2012). Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83, 201-215. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706.e.2012.1.788>.
- Duran-Bautista, E., Rodríguez-Suárez, L. y Suárez-Salazar, J. (2018). Relación entre macroinvertebrados y propiedades del suelo bajo diferentes arreglos agroforestales en la Amazonia-Andina, Caquetá, Colombia. *Acta agronomica*, 67, 395-401. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.67266>.
- Duran-Bautista, E. y Suárez-Salazar, J. (2013). Fauna del suelo y hojarasca en arreglos agroforestales de la Amazonia Colombiana. *Momentos de Ciencia* 10(1), 59-66.
- Fialho, J. S., Primo, A. A., Aguiar, M. I. de, Magalhães, R. B., Maia, L. dos S., Correia, M. E. F., Campanha, M. M. y Oliveira, T. S. de. (2021). Pedofauna diversity in traditional and agroforestry systems of the Brazilian semi-arid region. *Journal of Arid Environments*, 184, 104315. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104315>.
- García, Y., Ramírez-Suárez, W. y Sánchez, S. (2014). Efecto de diferentes usos de la tierra en la composición y la abundancia de la macrofauna edáfica, en la provincia de Matanzas. *Pastos y Forrajes*, 37, 313-321.
- García-Palacios, P., Alarcón, M. R., Tenorio, J. L. y Moreno, S. S. (2019). Ecological intensification of agriculture in drylands. *Journal of Arid Environments*, 167, 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.014>.

- Gedoz, M., Freitas, E. M., Silva, V. L. da, Johann, L., Gedoz, M., Freitas, E. M., Silva, V. L. da y Johann, L. (2021). Edaphic Invertebrates as Indicators of Soil Integrity Quality. *Floresta e Ambiente*, 28 (2). <https://doi.org/10.1590/2179-8087-floram-2020-0069>.
- Gómez-Pamies, D. F. (2016). Macrofauna edáfica en ecosistemas naturales y agroecosistemas de la eco-región Esteros del Iberá (Corrientes, Argentina). *Ciencia del suelo*, 34(1), 43-56.
- Hannachi, N., Cocco, S., Fornasier, F., Agnelli, A., Brecciaroli, G., Massaccesi, L., Weindorf, D. y Corti, G. (2015). Effects of cultivation on chemical and biochemical properties of dryland soils from southern Tunisia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199, 249-260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.009>.
- Huerta, E., Rodríguez, J., Evia, I., Montejo, E., De la Cruz, M. y García, R. (2008). *Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados*. 26(2), 171-181.
- Kelly, C., Schipanski, M., Kondratieff, B., Sherrod, L., Schneckloth, J. y Fonte, S. J. (2020). The effects of dryland cropping system intensity on soil function and associated changes in macrofauna communities. *Soil Science Society of America Journal*, 84(6), 1854-1870. <https://doi.org/10.1002/saj2.20133>.
- Kindt, R. y Coe, R. (2005). *Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. World Agroforestry Centre (ICRAF). <http://www.worldagroforestry.org/output/tree-diversity-analysis>.
- Lavelle, P., Barois, I. y Blanchart, E. (1998). Las lombrices como recurso en los agrosistemas tropicales. *La naturaleza y sus recursos*, 34(1 (ENE-MAR)), 28-44.
- Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., Gómez, Y., Gutiérrez, A., Hurtado, M. del P., Loaiza, S., Pullido, S. X., Rodríguez, E., Sanabria, C., Velásquez, E. y Fonte, S. J. (2014). Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 185, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.020>.
- Lavelle, P., Senapati, B. y Barros, E. (2003). Soil Macrofauna. En G. Schroth y F.L. Sinclair (Eds.) *Trees, Crops and Soil Fertility. Concepts and Research Methods* (pp. 303-323). CABF Publishing.
- Lino-Suárez, J. L., Balmaseda-Espinosa, C. E. y Ponce de León, D. (2019). Comportamiento espacial y temporal de la salinidad de suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE. *Killkana Técnica*, 3(3), 11-21. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i3.571.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. 6th ed. Malden. Blackwell Publishing
- Marichal, R., Grimaldi, M., Feijoo M., A., Oszwald, J., Praxedes, C., Ruiz Cobo, D. H., del Pilar Hurtado, M., Desjardins, T., Silva Junior, M. L. da, Silva Costa, L. G. da, Miranda, I. S., Delgado Oliveira, M. N., Brown, G. G., Tsélouiko, S., Martins, M. B., Decaëns, T., Velasquez, E. y Lavelle, P. (2014). Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Applied Soil Ecology*, 83, 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.006>.
- Masin, C. E., Cruz, M. S., Rodríguez, A. R., Demonte, M. J., Vuizot, L. A., Maitre, M. I., Godoy, J. L. y Almada, M. S. (2017). Macrofauna edáfica asociada a diferentes ambientes de un vivero forestal (Santa Fe, Argentina). *Ciencia del suelo*, 35(1), 21-33.
- Miguel, M. F., Butterfield, H. S. y Lortie, C. J. (2020). A meta-analysis contrasting active versus passive restoration practices in dryland agricultural ecosystems. *PeerJ*, 8, e10428. <https://doi.org/10.7717/peerj.10428>.
- Montenegro, A. del C. E., Filella, J. B. y Valdivia, N. A. G. (2017). Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, 22, 39-49. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i22.4520>.
- Moreira, F. M. S. Huising E.J. y Bignell D.E. (2012). *Manual de biología de suelos tropicales*. Instituto Nacional de Ecología.
- Murillo-Cuevas, F., Adame, J., Cabrera-Mireles, H. y Viveros, J. (2019). Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6, 23-33. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1792>.
- Murphy, P. G. y Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 67-88.
- Noguera-Talavera, Á., Reyes-Sánchez, N., Mendieta-Araica, B. y Salgado-Duarte, M. M. (2018). Macrofauna edáfica como indicador de conversión agroecológica de un sistema productivo de Moringa oleifera Lam. En Nicaragua. *Pastos y Forrajes*, 40(4), Article 4. [https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path\[\]=1995](https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path[]=1995).
- Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., Caceres, M. D., Durand, S.,...Weedon, J. (2022). *Vegan: Community Ecology Package*. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

- Pauli, N., Abbott, L., Negrete-Yankelevich, S. y Andrés, P. (2016). Farmers' knowledge and use of soil fauna in agriculture: A worldwide review. *Ecology and Society*, 21. <https://doi.org/10.5751/ES-08597-210319>.
- Pereira, J. de M., Segat, J. C., Baretta, D., Vasconcellos, R. L. de F., Baretta, C. R. D. M. y Cardoso, E. J. B. N. (2017). Soil Macrofauna as a Soil Quality Indicator in Native and replanted *Araucaria angustifolia* Forests. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 41, 1-15. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160261>.
- Pinzón, S. P., Rousseau, G. X., Piedad, A. R. da, Celentano, D., Zelarayán, M. L. C. y Braun, H. (2015). La macrofauna del suelo como indicadora de degradación de bosques ribereños en la amazonia oriental brasileira. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114(1), 49-60.
- Prayogo, C., Sholehuddin, N., Putra, E. y Rachmawati, R. (2019). Soil macrofauna diversity and structure under different management of pine-coffee agroforestry system. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 6, 1727-1736. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2019.063.1727>.
- Proaño, M. H. (2017). Variabilidad Climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 6(2), 42-47.
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Rousseau, G. X., Silva, P. R. dos S. y Carvalho, C. J. R. de. (2010). Lombrices de tierra, hormigas y otros artrópodos como indicadores de la salud de los suelos en sistemas tradicionales y en agroecosistemas sin el uso del fuego en la Amazonia Oriental. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE2), 117-134.
- Rousseau, L., Fonte, S. J., Téllez, O., van der Hoek, R. y Lavelle, P. (2013). Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, 27, 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.020>.
- Ruiz, N., Jérôme, M., Léonide, C., Christine, R., Gérard, H., Etienne, I. y Patrick, L. (2011). IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(10), 2032-2045. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.05.019>.
- Silva, R. A., Siqueira, G. M., Costa, M. K. L., Guedes Filho, O., Silva, Ê. F. de F. e, Silva, R. A., Siqueira, G. M., Costa, M. K. L., Guedes Filho, O. y Silva, Ê. F. de F. e. (2018). Spatial Variability of Soil Fauna Under Different Land Use and Managements. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170121>.
- Soil Survey Staff. (2006). *Keys to Soil Taxonomy* (Tenth). USDA-NRCS.
- Souza, S. T. de, Cassol, P. C., Baretta, D., Bartz, M. L. C., Klauberg Filho, O., Mafra, Á. L. y Rosa, M. G. da. (2016). Abundance and Diversity of Soil Macrofauna in Native Forest, Eucalyptus Plantations, Perennial Pasture, Integrated Crop-Livestock, and No-Tillage Cropping. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 40. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150248>.
- Suárez, L. R., Josa, Y. T. P., Samboni, E. J. A., Cifuentes, K. D. L., Bautista, E. H. D. y Salazar, J. C. S. (2018). Soil macrofauna under different land uses in the Colombian Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53, 1383-1391. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200011>.
- Suárez-Salazar, J., Duran-Bautista, E. y Rosas Patiño, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada a sistemas agroforestales en la Amazonia Colombiana. *Acta Agronómica*, 64, 214-220. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033>.
- Tapia-Coral, S., L, A. T., Velásquez, E. y Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 260-267. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.380>.
- Vasconcellos, R. L. F., Bonfim, J. A., Baretta, D. y Cardoso, E. J. B. N. (2013). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Glomalin-Related Soil Protein as Potential Indicators of Soil Quality in a Recuperation Gradient of the Atlantic Forest in Brazil. *Land Degradation & Development*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/ldr.2228>.
- Velasquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(12), 3066-3080. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>.
- Wang, B., Chen, Y., Li, Y., Zhang, H., Yue, K., Wang, X., Ma, Y., Chen, J., Sun, M., Chen, Z. y Wu, Q. (2021). Differential effects of altered precipitation regimes on soil carbon cycles in arid versus humid terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 27(24), 6348-6362. <https://doi.org/10.1111/gcb.15875>.
- Zerbino, M. S. (2010). Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE2), 189-202.
- Zerbino, S., Altier, N., Morón, A. y Rodríguez, C. (2008). Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia - Sitio en Reparación*, 12(1), 44-55. <https://doi.org/10.2477/vol12iss1pp44-55>.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** G. Cabrera Dávila, D. Ponce de León. **Metodología:** G. Cabrera Dávila, D. Ponce de León, E. Cortez Pozo, J. Pozo Quiroz. **Análisis formal:** G. Cabrera Dávila, D. Ponce de León. **Investigación:** G. Cabrera Dávila, D. Ponce de León, E. Cortez Pozo, J. Pozo Quiroz. **Redacción del borrador original:** G. Cabrera Dávila, D. Ponce de León. **Revisión y edición final:** G. Cabrera Dávila, D. Ponce de León. **Visualización:** G. Cabrera Dávila, D. Ponce de León. **Supervisión:** D. Ponce de León. **Administración de proyecto:** D. Ponce de León. **Adquisición de fondos:** D. Ponce de León.