



Macrofauna edáfica en agroecosistemas de *Coffea arabica* L., en Tepec-Xomolth, Nicaragua*

Soil macrofauna in agroecosystems of *Coffea arabica* L., in Tepec-Xomolth, Nicaragua

Juan Carlos Morán Centeno¹, Edgardo Jimenez-Martínez¹

* Recepción: 28 noviembre, 2023. Aceptación: 02 de febrero, 2024. Este trabajo formó parte del proyecto de tesis doctoral del autor principal denominado "Manejo agronómico y fitosanitario en café (*Coffea arabica* L.), y su relación con la fertilidad, biota edáfica y roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome), en Madriz".

¹ Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. juan.moran@ci.una.edu.ni (autor para la correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-6135-7271>); edgardo.jimenez8@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-1086-7380>).

Resumen

Introducción. El café es un rubro de gran importancia a nivel mundial, al tener un impacto directo en la economía de los países. En Nicaragua representa el 25 % de las exportaciones. El agroecosistema de producción de café está conformado por componentes que se encuentran por encima y debajo de la superficie del suelo. **Objetivo.** Estimar las poblaciones de macrofauna edáfica en agroecosistemas productivos de café y su relación con la fertilidad del suelo y las prácticas de manejo. **Materiales y métodos.** La investigación se realizó de mayo a agosto de 2023, en catorce sistemas productivos de café, en la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta. Se realizaron monolitos de 25 × 25 × 20 cm extraídos del suelo; en cada sistema se trazaron tres transectos, separados a 50 m; los especímenes colectados se identificaron hasta nivel de familia. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, modelos lineales generalizados, pruebas de hipótesis e índices de diversidad. **Resultados.** Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,5$) para las comunidades rurales y las prácticas de manejo. La fertilidad del suelo varió de acuerdo con la altitud de las fincas. La macrofauna fue abundante en la comunidad Nueva Esperanza (20 672 individuos) y en el manejo de sombra (23 632 individuos). Se encontraron quince órdenes y 38 familias. Predominaron la clase Insecta y el grupo trófico de depredadores. La diversidad es alta y estable, resultado del manejo que realiza el productor. **Conclusiones.** La riqueza taxonómica y la abundancia de la macrofauna fueron similares en los sistemas evaluados, en específico los órdenes Haplotaxida, Coleoptera, Hymenoptera e Isopoda, donde sobresalen los detritívoros, omnívoros y depredadores. Se evidenció que el manejo del cultivo tiene un efecto directo en la diversidad edáfica; esto indica que los suelos son poco perturbados y existe un equilibrio ecológico.

Palabras clave: artrópodos, diversidad biológica, fertilidad, suelo, cultivo bajo cubierta vegetal.

Abstract

Introduction. The coffee plant is an item of great importance worldwide, as it has a direct impact on the economy of the countries. In Nicaragua, it represents 25 % of exports. The coffee plant production agroecosystem is



made up of components that are found above and below the soil surface. **Objective.** To estimate the populations of soil macrofauna in productive coffee plantation agroecosystems and their relationship with soil fertility and management practices. **Materials and methods.** The research was carried out from May to August 2023 in fourteen coffee plantation production systems in the Tepec-Xomolth La Patasta nature reserve. Soil monoliths measuring 25 × 25 × 20 cm were extracted, and three transects were established in each system, separated by 50 m. Specimens collected were identified at the family level. The data were analyzed using descriptive statistics, generalized linear models, hypothesis tests, and diversity indices. **Results.** Significant statistical differences ($p < 0.5$) were found for rural communities and practices. Soil fertility varied according to the altitude of the farms, with abundant macrofauna in the Nueva Esperanza community (20,672 individuals) and shade management (23,632 individuals). Fifteen orders and 38 families were identified, with the insect class and the trophic group of predators predominating. Diversity was high and stable, a result of the management practices employed by the producers. **Conclusions.** Taxonomic richness and abundance of macrofauna were similar in the evaluated systems, specifically in the orders Haplotaxida, Coleoptera, Hymenoptera, and Isopoda, where detritivores, omnivores and predators stand out. The study revealed that crop management directly affects soil diversity, indicating that the soils are minimally disturbed and there is ecological balance.

Keywords: arthropods, biological diversity, fertility, soil, crop cover.

Introducción

Los agroecosistemas productivos de cafeto (*Coffea arabica* L.), son de importancia económica y ecológica a nivel mundial, debido a su impacto financiero y ambiental en especial en países en vías de desarrollo (Siu Palma et al., 2023; Villalta-Villalobos & Gatica-Arias, 2019). Este rubro en Nicaragua constituye el 25 % de las exportaciones del país. La producción se concentra en los departamentos de Jinotega (35 %), Matagalpa (25 %), Nueva Segovia (13 %) y Madriz (8 %) (Ministerio Agropecuario, 2019).

El estudio de la composición de los sistemas productivos de cafeto es de importancia. Los componentes que se encuentran por encima y por debajo de la superficie del suelo, conforman redes complejas y dinámicas, en donde el productor con sus decisiones de manejo influye en las interacciones bióticas y abióticas (Quiroz Guerrero et al., 2021).

Dentro de los componentes de los sistemas productivos se encuentra la macrofauna edáfica, los macroorganismos son de fácil detección (Cabrera Dávila et al., 2022; Cabrera-Dávila et al., 2017). La macrofauna edáfica es un componente de mucha importancia en el suelo al tener funciones que mejoran la estructura y regulan el comportamiento de otros organismos (Gedoz et al., 2021; Scaglione et al., 2023). El estudio de la composición de las comunidades bióticas constituye una herramienta fundamental para comprender las condiciones edáficas (Gedoz et al., 2021).

Algunas clases y órdenes de artrópodos intervienen en los procesos de transformación del suelo (Annelida: Oligochaeta), la formación de poros (Insecta: Hymenoptera, e Isopoda) y la trituración de restos vegetales (Coleoptera, Diplopoda, Isopoda y Gastropoda), lo que permite inferir la importancia de la composición biológica del suelo y sus funciones en los sistemas productivos (Chávez-Suárez et al., 2023).

Investigaciones efectuadas mencionan que las alteraciones en las propiedades edáficas como consecuencia del manejo de los suelos o cambios en la cobertura vegetal por el manejo del cultivo provoca cambios en la macrofauna del suelo (Cabrera Dávila et al., 2022; Suárez Salazar et al., 2015). El manejo óptimo de la cobertura vegetal contribuye a la estabilidad de las poblaciones de artrópodos edáficos. La abundancia y riqueza de las comunidades de invertebrados se debe al aporte de materia orgánica fresca (hojarasca) al suelo, lo cual provee de energía y refugio, y regula el microclima (Suárez Salazar et al., 2015).

En Nicaragua existe poca información que asocie el manejo de los sistemas de producción de cafeto con la fauna del suelo y la hojarasca presente, así como la presencia o ausencia de los grupos tróficos, con el propósito

de analizar la complejidad que ocurre dentro del agroecosistema (Quiroz Medina et al., 2021; Quiroz-Medina & Bárcenas-Lanzas, 2023; Rodríguez González & Salazar Centeno, 2021; Rodríguez González et al., 2022). El objetivo de este estudio fue estimar las poblaciones de macrofauna edáfica en agroecosistemas productivos de café y su relación con la fertilidad del suelo y las diferentes prácticas de manejo implementadas por productores de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta, Madriz, Nicaragua.

Materiales y métodos

El estudio se realizó de mayo a agosto del 2023, en la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta, declarada área protegida bajo la categoría de Reserva Natural por el Decreto Ejecutivo n°. 42-91, según los límites establecidos por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales el área total es de 116,65 km², de los cuales 65,70 km² corresponden al territorio de Madriz (56,32 % del área protegida). Esta área es compartida por los municipios de San Lucas con 26,90 km², Las Sabanas 16,07 km² y San José de Cusmapa con 22,73 km² (Presidente de la República de Nicaragua, 1991).

La reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta se encuentra localizada entre los 13° 12' y 13° 40' de latitud norte y 86° 05' y 86° 45' de longitud oeste en un territorio de topografía irregular con altitudes de 1000 y 1735 m s. n. m. Su clima se caracteriza por cambiar en función de la altitud: de tropical seco en las partes bajas a tropical húmedo en las elevaciones y montañas. La época de lluvia abarca los meses de abril a julio; luego, entre octubre y noviembre. Las temperaturas promedio fluctúan entre los 16 y 23 °C, mientras que la humedad relativa presenta rangos de 51,91 a 100 % en las elevaciones (Morán Centeno & Jiménez-Martínez, 2023). Se seleccionaron agroecosistemas productivos de café en las comunidades de El Pegador, Nueva Esperanza y Buena Vista, las cuales son parte de la reserva antes mencionada.

Diseño metodológico

La investigación se efectuó en pequeños agroecosistemas productivos (menores a cinco hectáreas) con café arábica, con un enfoque cuantitativo, no experimental de corte transversal, cuyo alcance fue descriptivo y correlacional, en donde no hubo manipulación de variables, limitándose a la recolección de datos en un único momento (Rodríguez González & Salazar Centeno, 2021; Rodríguez González et al., 2022; Valdez Arévalo, 2021).

Selección de los sistemas productivos de café

La selección de los sistemas productivos de café se llevó a cabo en el período comprendido entre los meses de mayo a agosto del 2023, en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta. Se tomó una muestra de catorce sistemas productivos (Nueva Esperanza = 5, El Pegador = 4, Buena Vista = 5), todos dedicados a la producción de café (Morán Centeno & Jiménez-Martínez, 2023). En todos los sistemas evaluados se empleaban como parte del manejo al cultivo las siguientes prácticas: control químico de plagas, curvas a nivel (obras de conservación de suelo), manejo de sombra en el cultivo de café, poda de mantenimiento y poda sanitaria del café.

Levantamiento de muestras de suelo para análisis químico

Por cada sistema productivo se realizaron veinte submuestreos a una profundidad de 20 cm, los cuales se mezclaban para conformar muestras compuestas de un kilogramo de suelo. Se trasladaron al Laboratorio de Suelos

y Agua (LABSA), de la Universidad Nacional Agraria (UNA), para determinar parámetros químicos (macro y micronutrientes), con el empleo de los métodos establecidos en Salgado García et al. (2013).

Muestreo y procesamiento de la macrofauna edáfica

Para el muestreo de la macrofauna edáfica se colectaron monolitos de suelo (25 × 25 × 20 cm), en cada sistema productivo, se trazaron tres transectos similares de 50 m de longitud, separados por 50 m, se extrajeron tres monolitos por transecto (Rodríguez González & Salazar Centeno, 2021; Rodríguez González et al., 2022) y luego se colocaron en bolsas plásticas y revisadas en bandejas (Valdez Arévalo, 2021).

Los especímenes (adultos y larvas), colectados y contabilizados de forma manual fueron rotulados y almacenados en alcohol al 70 %, con excepción de las lombrices de tierra, que fueron conservadas en formol al 4 % para evitar su desecación (Rodríguez González & Salazar Centeno, 2021; Valdez Arévalo, 2021). Se identificó hasta el nivel taxonómico de familia. Dichos organismos se trasladaron al Museo Entomológico de la Universidad Nacional Agraria, para su identificación comparándolos con las colecciones entomológicas y bibliografía especializada (Jiménez-Martínez, 2020; Rodríguez Flores & Jiménez-Martínez, 2019), se observaron con un estereoscopio (CARL ZEISS, modelo 475002). Para todos los sistemas bajo estudio y grupos taxonómicos, se consideraron la abundancia, convertida en densidad, la cual corresponde al número de individuos (ind) por metro cúbico (ind/m³), y la riqueza total por sistema de estudio y por muestra de suelo, con base en el método de muestreo de macrofauna propuesto por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF), según Anderson e Ingram (1994), a los cuales se le asignó su rol ecológico en el sistema productivo de cafeto (Cabrera Dávila & López Iborra, 2018; Cabrera Dávila et al., 2022; Quiroz Medina et al., 2021). Además, se calcularon los índices de diversidad para comparar comunidades y prácticas empleadas por los productores.

Análisis estadístico

Para evaluar los agroecosistemas de cafeto sobre las variables químicas de suelo, se utilizó un análisis de varianza, con modelos lineales generalizados, para lo cual se consideraron las comunidades y prácticas como efectos fijos y separación de medias al 95 % de confianza (Tukey ≤ 0,05).

En cuanto a la diversidad de organismos se obtuvo un único valor de abundancia para cada muestreo, en cada práctica, mediante la sumatoria de los individuos y especies registradas en cada monolito. Se aplicaron modelos lineales generalizados, las familias se tomaron como variables discretas. Del conjunto de modelos planteados, se seleccionó el que mostró el menor valor de Akaike (AIC), en donde hubo diferencias significativas entre los factores. Se procedió a realizar comparaciones mediante la prueba de Tukey (0,05), se empleó estadística descriptiva y análisis de componentes principales.

La abundancia se estimó con base en la frecuencia de captura de una especie (n-veces), en cada sistema de cultivo (Índice de Shannon – Weaver), la diversidad se determinó mediante el índice de Simpson, para la comunidad rural y el tipo de práctica de manejo. Para ello, se empleó el software R v.4.2.3 (R Core Team, 2023).

Resultados

Análisis químicos del suelo

Al comparar los parámetros químicos del suelo en las comunidades bajo estudio, se encontró que el contenido nutricional del suelo varía en las diferentes comunidades de manera significativa; en aquellos sistemas productivos

de cafeto ubicados a altitudes menores (inferiores a 1200 m s. n. m.), mostraron los mayores porcentajes de carbono orgánico (3,34 a 5,57 %). Las concentraciones de calcio y fósforo presentaron un comportamiento similar, y en las comunidades de Nueva Esperanza y El Pegador se registraron altos valores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química en los sistemas productivos de cafeto evaluados en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta, Nicaragua. 2023.

Table 1. Chemical composition in the coffee production systems evaluated in three communities of the Tepec-Xomolth La Patasta natural reserve, Nicaragua. 2023.

Comunidad rural	Latitud	Longitud	Altitud de los sistemas productivos m s. n. m.	COT %	P mg/kg	Ca mmol/kg
Nueva Esperanza	531870	1476806	F1 (1140,12)	5,57 a	48,39 a	337,22 a
Nueva Esperanza	539815	1476759	F2 (1159,20)	3,34 bc	24,98 ab	259,87 abc
Nueva Esperanza	539704	1476979	F3 (1017,13)	3,67 bc	12,53 b	260,38 abc
Nueva Esperanza	540088	1477020	F4 (1130,50)	4,27 ab	6,65 b	246,73 abc
Nueva Esperanza	540013	1477074	F5 (1083,53)	4,36 ab	22,61 ab	293,11 ab
El Pegador	540976	1477119	F6 (1490,52)	2,63 c	3,23 b	157,53 c
El Pegador	540414	1476500	F7 (1501,50)	3,74 bc	4,97 b	176,21 c
El Pegador	540569	1476586	F8 (1143,13)	5,51 a	49,80 a	335,01 a
El Pegador	540539	1476622	F9 (1159,40)	3,34 bc	25,37 ab	262,70 abc
Buena Vista	539790	1477226	F10 (1019,13)	3,67 bc	12,23 b	253,47 abc
Buena Vista	540518	1476501	F11 (1103,30)	4,32 ab	7,82 b	267,32 abc
Buena Vista	541983	1471991	F12 (1133,10)	4,51 ab	9,75 b	250,44 abc
Buena Vista	541890	1471578	F13 (1268,38)	3,37 bc	19,12 ab	217,54 bc
Buena Vista	541981	1471357	F14 (1508,76)	3,33 bc	4,50 b	181,40 bc
		Media		3,94	17,87	246,85
		C.V (%)		14,74	74,51	18,50
		R ²		0,81	0,72	0,74
		Pr		0,0091	0,05	0,04

** Promedios con letra en común no difieren estadísticamente ($\alpha = 0,05$), F: sistemas productivos de café, COT: carbono orgánico, P: fósforo, Ca: calcio. / ** Averages with letter in common do not differ statistically ($\alpha = 0,05$), F: coffee production systems, COT: organic carbon, P: phosphorus, Ca: calcium.

Clasificación taxonómica, rol trófico y diversidad de la macrofauna edáfica

De acuerdo con el rol ecológico que desempeñan los diferentes órdenes y familias el orden Haplatoxida (*Lumbricidae*), fue el más abundante, seguido del orden Hymenoptera (*Formicidae*), Coleoptera (*Elateridae*) e Isopoda (*Rhinotermitidae*), en las comunidades rurales. Otro aspecto de importancia a mencionar es la presencia de depredadores lo que se puede asociar a un control natural y al mantenimiento de un equilibrio en el sistema productivo, sobresalieron las familias *Opiliones*, *Theraphosidae* y *Forficulidae*. En cuanto al grupo de los detritívoros, estuvieron representados por las familias *Lumbricidadae*, *Termitidae*, *Rhinocricidae*, *Emildae*, *Tenebrionidae* y *Porcellionidae*. La diferencia entre los grupos funcionales entre las comunidades sugiere distintos niveles de activación biológica del suelo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación taxonómica, rol trófico y diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas productivos de café en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta, Nicaragua. 2023.

Table 2. Taxonomic classification, trophic role, and diversity of edaphic macrofauna in coffee production systems in three communities of the Tepec-Xomolth La Patasta natural reserve, Nicaragua. 2023.

Orden	Familia	Comunidades rurales						Grupo funcional	
		Nueva Esperanza		Buena Vista		El Pegador			
		Ind/m ³	%	Ind/m ³	%	Ind/m ³	%		
Araneae	Opiliones	784	3,8	NP	0,0	NP	0,0	Depredadores	
	Salticidae	NP	0,0	160	4,7	384	3,3	Depredadores	
	Theraphosidae	NP	0,0	64	1,9	608	5,3	Depredadores	
Haplotaaxida	Lumbricidae	10 784	52,2	208	6,1	1 056	9,1	Detritívoros	
Scolopendromorpha	Scolopendridae	960	4,6	160	4,7	752	6,5	Depredadores	
Spirobolida	Rhinocricidae	NP	0,0	NP	0,0	64	0,6	Detritívoros	
Mesogastrópodo	Planorbidae	NP	0,0	48	1,4	48	0,4	Herbívoros	
Pulmonata	Helicidae	NP	0,0	64	1,9	608	5,3	Herbívoros	
	Veronicellidae	624	3,0	NP	0,0	112	1,0	Herbívoros	
Blattodea	Blatellidae	16	0,1	48	1,4	96	0,8	Omnívoros	
Coleoptera	Buprestidae	NP	0,0	16	0,5	96	0,8	Detritívoros	
	Chrysomelidae	240	1,2	32	0,9	144	1,2	Herbívoros	
	Cleridae	NP	0,0	NP	0,0	32	0,3	Herbívoros	
	Coccinellidae	NP	0,0	32	0,9	64	0,6	Depredadores	
	Curculionidae	48	0,2	48	1,4	16	0,1	Herbívoros	
	Elateridae	80	0,4	48	1,4	608	5,3	Depredadores	
	Elmidae	NP	0,0	96	2,8	432	3,7	Detritívoros	
	Lampyridae	NP	0,0	16	0,5	160	1,4	Depredadores	
	Scarabaeidae	1392	6,7	208	6,1	576	5,0	Herbívoros	
	Staphylinidae	320	1,5	NP	0,0	96	0,8	Depredadores	
	Tenebrionidae	32	0,2	192	5,7	160	1,4	Detritívoros	
	Dermaptera	Forficulidae	144	0,7	112	3,3	96	0,8	Depredadores
	Diptera	Stratiomyidae	32	0,2	NP	0,0	16	0,1	Detritívoros
Hemiptera	Aphididae	NP	0,0	32	0,9	2	0,0	Herbívoros	
	Cercopidae	NP	0,0	16	0,5	1	0,0	Depredadores	
	Gelastocoridae	32	0,2	48	1,4	16	0,1	Depredadores	
	Lygaeidae	80	0,4	48	1,4	15	0,1	Depredadores	
	Reduviidae	80	0,4	16	0,5	25	0,2	Depredadores	
Hymenoptera	Formicidae	2000	9,7	1056	31,1	3008	26,1	Omnívoros	
	Mutillidae	NP	0,0	320	9,4	112	1,0	Depredadores	
	Vespidae	NP	0,0	NP	0,0	80	0,7	Herbívoros	
Lepidoptera	Noctuidae	32	0,2	16	0,5	32	0,3	Herbívoros	
	Sphingidae	32	0,2	16	0,5	48	0,4	Herbívoros	
Orthoptera	Acrididae	NP	0,0	48	1,4	16	0,1	Herbívoros	
	Gryllidae	176	0,9	16	0,5	144	1,2	Herbívoros	
Isopoda	Porcellionidae	NP	0,0	96	2,8	288	2,5	Detritívoros	
	Rhinotermitidae	2784	13,5	64	1,9	16	0,1	Detritívoros	
	Termitidae	NP	0,0	48	1,4	1520	13,2	Detritívoros	
Total		20 672	100	3 392	100	11 547	100		
Depredadores (n = 6457)									
Detritívoros (n = 18 000)									
Herbívoros (n = 4930)									
Omnívoros (n = 6224)									

/: porcentaje relativo, NP: sin presencia, Ind/m³: individuos por metro cuadrado. / %: relative percentage, NP: no presence, Ind/m³: individuals per square meter.

Macrofauna edáfica por comunidad y práctica de manejo del cultivo

Al analizar la macrofauna edáfica total en cada una de las comunidades bajo estudio en los sistemas de producción de café, la comunidad Nueva Esperanza mostró la mayor cantidad de individuos por metro cuadrado, lo que indica mayor abundancia de macroinvertebrados, seguida de la comunidad El Pegador y, en menor grado, Buena Vista (Figura 1). En cuanto al manejo que el productor realiza en sus sistemas productivos, se determinó que el uso de curvas a nivel y el manejo de sombra presentaron la mayor cantidad de individuos (Figura 2).

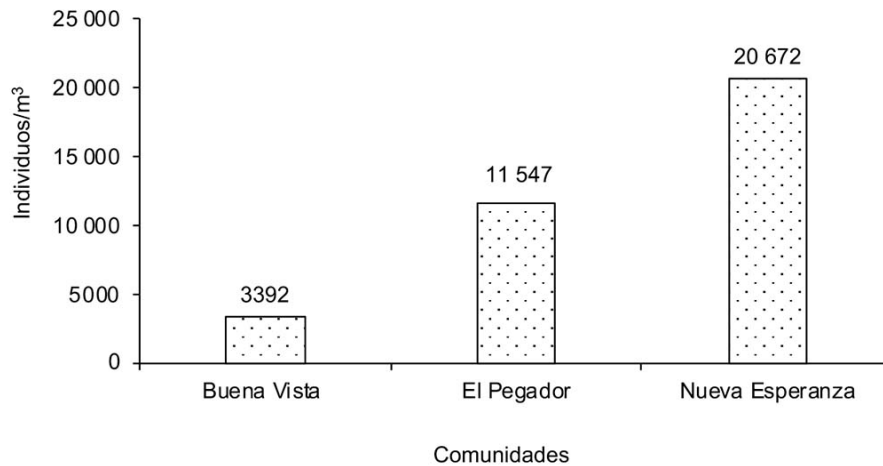


Figura 1. Número de individuos de la macrofauna edáfica en los sistemas de producción de café en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patata, Nicaragua. 2023.

Figure 1. Number of individuals of the edaphic macrofauna in the coffee production systems in three communities of the Tepec-Xomolth La Patata natural reserve, Nicaragua. 2023.

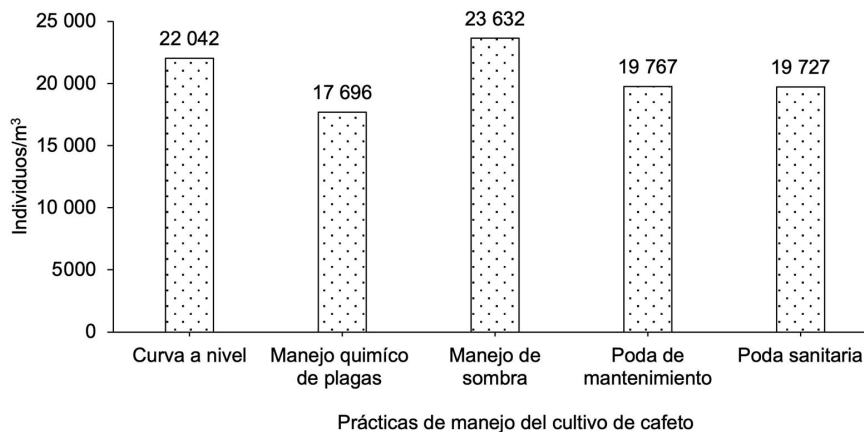


Figura 2. Número de individuos de la macrofauna edáfica en las diferentes prácticas de manejo empleadas en el cultivo de café en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patata, Nicaragua. 2023.

Figure 2. Number of individuals of the edaphic macrofauna in the different management practices used in coffee cultivation in three communities of the Tepec-Xomolth La Patata natural reserve, Nicaragua. 2023.

Individuos por clase de la macrofauna edáfica

Se registró la mayor cantidad de individuos para la clase Insecta ($n = 13\,303$), seguida de Clitellata ($n = 12\,048$) y, en menor cantidad, Arachnida, Diplopoda y Gastropoda. Estos resultados indican que la presencia de insectos en los sistemas productivos de café es abundante, donde desempeñan diversas funciones ecológicas, debido al manejo que realizan los productores (Figura 3).

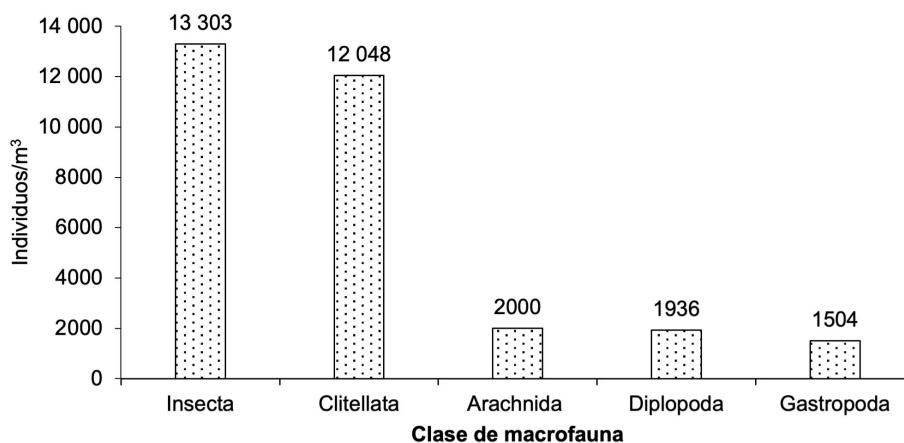


Figura 3. Número de individuos de la macrofauna edáfica por clase en el cultivo de café en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta, Nicaragua. 2023.

Figure 3. Number of individuals of the edaphic macrofauna by class in coffee cultivation in three communities of the Tepec-Xomolth La Patasta nature reserve, Nicaragua. 2023.

Al analizar las diferentes prácticas de manejo del cultivo de café en relación con las familias de artrópodos, se encontró que en aquellos sistemas productivos en donde se implementan podas sanitarias, podas de mantenimiento y curvas a nivel, predominan las familias *Pentatomidae*, *Formicidae*, *Elasteridae*, *Tenebrionidae*, *Blattidae*, *Salticidae*, *Termitidae* y *Emilcidae*; al aplicar manejo de sombra son abundantes las familias *Reduviidae* y *Scarabaeidae*; por su parte, el control químico de plagas se relacionó con las familias *Carabidae*, *Lygaeidae*, *Opiliones*, *Noctuidae*, *Culicidae* y *Navidae* (Figura 4). Otras familias como *Forficulidae*, *Chrysomelidae*, *Cydnidae*, *Rhinotermitidae* y *Gryllidae* no se asociaron a ninguna práctica en particular, lo que indica que se encuentran distribuidas de manera general en todos los sistemas productivos.

Los resultados obtenidos mostraron que las comunidades de Nueva Esperanza y El Pegador fueron donde se presentaron los mayores valores del índice de Shannon, así como en el uso de curvas a nivel, poda de mantenimiento y poda sanitaria; valores similares fueron expresados mediante el índice de Simpson. Esto indica

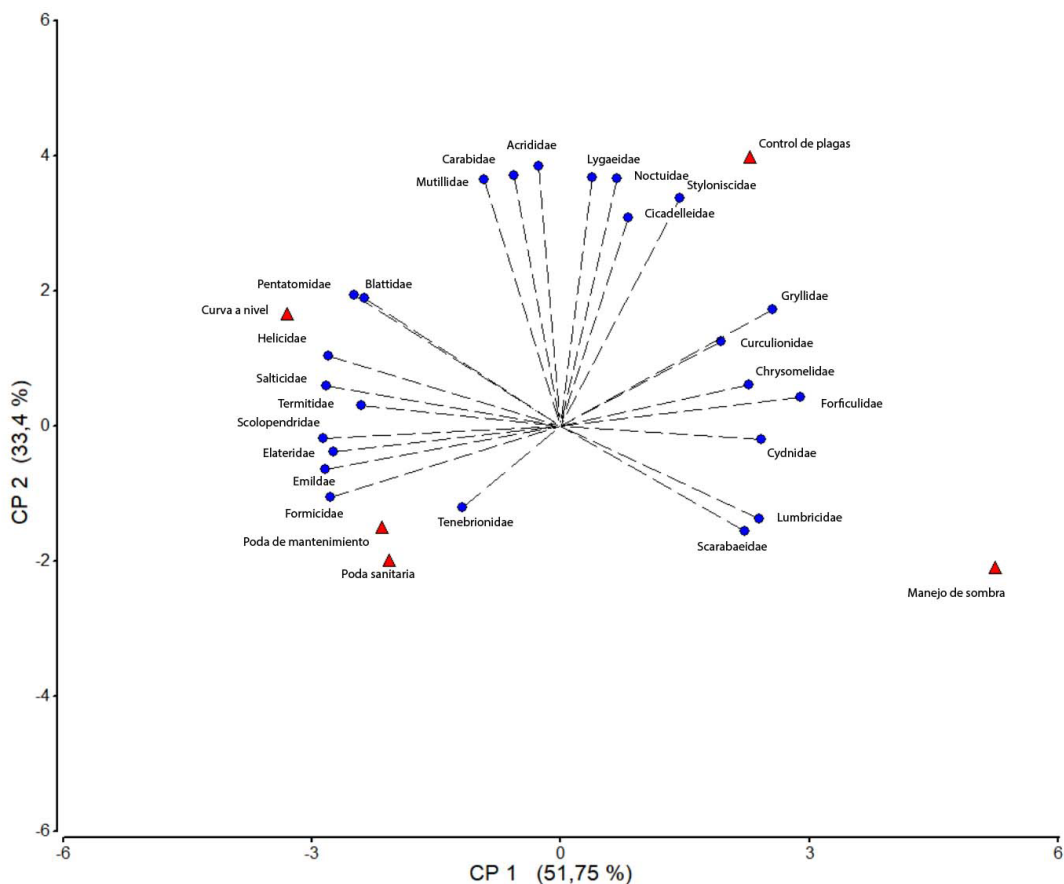


Figura 4. Asociación de las diferentes familias de artrópodos con las prácticas de manejo en el cultivo de café en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta, Nicaragua. 2023.

Figure 4. Association of the different families of arthropods with management practices in coffee cultivation in three communities of the Tepec-Xomolth La Patasta nature reserve, Nicaragua. 2023.

que los sistemas de cultivo de café en las comunidades bajo estudio son manejados de manera tradicional por los productores, lo cual mantiene un equilibrio ecológico entre las poblaciones y propicia una alta diversidad (Cuadro 3). Al categorizar las prácticas de manejo se encontró que el manejo de sombra influye de manera directa en la presencia de macrofauna edáfica, seguido de las podas de mantenimiento y sanitaria. En el caso de las comunidades rurales, Buena Vista expresó el mayor número de familias de artrópodos, seguida de El Pegador; esto se reflejó en el número de familias identificadas.

Cuadro 3. Comportamiento de la macrofauna edáfica en el cultivo de café en tres comunidades de la reserva natural Tepec-Xomolth La Patasta, Nicaragua. 2023.

Table 3. Behavior of edaphic macrofauna in coffee cultivation in three communities of the Tepec-Xomolth La Patasta nature reserve, Nicaragua. 2023.

Componentes	Índice de diversidad		Riqueza (familias)	Desviación estándar	HSD (0,05)
	Shannon-Weaver	Simpson			
Comunidades					
Nueva Esperanza	2,5366	0,8817	24,67	3,31	272,33 b
El Pegador	2,0710	0,7066	30,33	2,06	110,95 b
Buena Vista	1,8118	0,7655	33,00	0,00	610,17 a
Prácticas de manejo del cultivo					
Curvas a nivel	2,5612	0,8777	29,80	4,66	325,09 e
Manejo químico de plagas	2,2251	0,8223	33,00	0,00	331,75 d
Manejo de sombra	1,7289	0,7485	33,00	0,00	420,06 a
Poda de mantenimiento	2,4028	0,8574	32,60	1,20	381,36 b
Poda sanitaria	2,4205	0,8598	33,00	0,00	373,41 c

** Promedios con letra en común no difieren estadísticamente ($\alpha = 0,05$), HSD: prueba de Tukey al 95 % de confianza. / **Average with letter in common do not differ statistically ($\alpha = 0,05$), HSD: Tukey test at 95 % confidence.

Discusión

Las propiedades químicas del suelo evaluadas en los agroecosistemas de café mostraron concentraciones promedio de 3,94 % de carbono orgánico, lo que refleja una tasa constante de reciclaje de materia orgánica proveniente de las prácticas de manejo de la plantación y la vegetación empleada como sombra en los estratos superiores, lo que se puede considerar una fortaleza del agroecosistema en términos de fertilidad y estructura del suelo, al incorporar en el sistema materia orgánica fresca, producto del manejo de sombra. En la mayoría de los suelos, las concentraciones de carbono orgánico varían de 0,3 a 11,5 %. Los valores obtenidos en este estudio se consideran aceptables al compararlos con sistemas agroforestales y bosques (Vargas-Larreta et al., 2023).

El valor promedio de fósforo fue 17,87 mg/kg. En aquellos cafetales ubicados a mayores altitudes, se registró menor concentración de este elemento; este mismo comportamiento se observó en la cantidad de calcio (promedio 246,85 mmol/kg). Estos resultados son similares a los reportados por Rodríguez Suárez et al. (2019), quienes indican que en sistemas productivos de café los suelos registran contenidos altos de fósforo y calcio, atribuidos a la contribución de materia y fertilizantes orgánicos incorporados por el productor en sus actividades de manejo, lo que favorece la sanidad del cultivo y la biota edáfica.

Los resultados obtenidos indican cambios en la abundancia y riqueza de la macrofauna edáfica en los sistemas productivos, que vinculan las prácticas de manejo del cultivo y la creación de cambios espaciales y temporales que ocurren en aquellos espacios con mayor diversidad vegetal (Zhang et al., 2022). La cantidad de material vegetal incorporado al suelo, producto de las prácticas de manejo (podas de mantenimiento, sanitaria y manejo de sombra), suministra recursos alimenticios en el estrato superficial del suelo (Euteneur et al., 2020; Morel & Ortiz Acosta, 2022). La mejora de la estructura del suelo ofrece microespacios para la oviposición, alimentación y hábitats para estos individuos, en particular para las familias *Scarabaeidae* y *Formicidae* (Bedano et al., 2016; Jiang et al., 2018; Scaglione et al., 2023).

El funcionamiento eficiente del agroecosistema depende del manejo, el tipo de suelo, así como de las especies de animales y vegetales presentes y sus interacciones, lo que permite tener una biodiversidad funcional, para mantener o incrementar la fertilidad del suelo (Quiroz Medina et al., 2021; Quiroz-Medina & Bárcenas-Lanzas, 2023).

El grupo de macrofauna edáfica con mayor abundancia registrada fue la clase Insecta (13 303 individuos), seguida por Clitellata (12 048 individuos). Los detritívoros fueron el grupo funcional predominante en todos los sistemas de producción, con efectos directos sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, seguidos por los omnívoros y depredadores, que regulan las poblaciones de otros artrópodos que se encuentran presentes en el sistema productivo. Los resultados obtenidos demostraron que la presencia de hojarasca en la superficie del suelo confiere refugio y presas a los artrópodos, permitiéndoles realizar diferentes procesos y servicios en el agroecosistema (Cabrera Dávila, 2017; Cabrera Dávila & López Iborra, 2018; Cabrera-Dávila et al., 2017; Castillo-Trejo et al., 2023).

En los agroecosistemas la diversidad fue mayor cuando los productores cafetaleros efectuaron manejo de sombra de los estratos superiores. Esta práctica permite mayor entrada de luz solar y movilidad a los órdenes Hymenopteras, Coleopteras y Haplotaxida, bajo las plantas de cafeto, lo que incrementa sus hábitats, refugio y, por ende, la cantidad de presas. En términos generales, se considera que la variabilidad en la diversidad de artrópodos fue intermedia en todos los cafetales. Existe evidencia documentada de que el grado de perturbación del suelo y las prácticas de manejo del cultivo influyen en la salud del cultivo y la diversidad de organismos presentes (Euteneur et al., 2020; Mesa-Pérez et al., 2016). Los atributos químicos y físicos del suelo, y la humedad presente en los agroecosistemas, contribuyeron a la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica (Quiroz-Medina & Bárcenas-Lanzas, 2023).

Conclusiones

La riqueza taxonómica y la abundancia de la macrofauna edáfica, fueron mayores en la comunidad Nueva Esperanza, cuando se empleó manejo de sombra. La clase Insecta predominó, seguida de Clitellata en todos los agroecosistemas. El grupo funcional de detritívoros fue predominante en los sistemas productivos de cafeto, seguido por los omnívoros y depredadores. La incorporación de materia orgánica fresca contribuyó de manera significativa a la abundancia de la macrofauna edáfica. La fertilidad del suelo varió en dependencia de la altitud a la que se encontraba el sistema productivo.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Programa de Doctorado en Sanidad Vegetal de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua, así como a los productores de la Reserva Natural Tepec-Xomolth La Patasta, Madriz, por permitir recopilar la información de campo en sus áreas de producción.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en la realización de la presente publicación.

Referencias

- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. (Eds.). (1994). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods* (2nd ed.). CAB International. https://courses.washington.edu/esrm304a/lectures/Soils/Tropical%20Soil%20Biology%20and%20Fertility%20Methods_Web%20Soils%20Reading.pdf
- Bedano, J. C., Domínguez, A., Arolfo, R., & Wall, L. G. (2016). Effect of good agricultural practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. *Soil and Tillage Research*, *158*, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.12.005>
- Cabrera Dávila, G. (2017). Rectificaciones a la lista taxonómica de la macrofauna del suelo en bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Artemisa, Cuba. *Acta Botánica Cubana*, *216*(3), 123–126. <https://revistasgeotech.com/index.php/abc/article/view/194>
- Cabrera Dávila, G. de la C., & 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://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002018000300363>
- Cabrera Dávila, G. de la C., Sánchez Rendón, J. A., & Ponce de León Lima, D. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, *221*, Artículo e01. <http://www.revistasgeotech.com/index.php/abc/article/view/404>
- Cabrera-Dávila, G. de la C., Socarrás-Rivero, A. A., Hernández-Vigoa, G., Ponce de León-Lima, D., Menéndez-Rivero, Y. I., & 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. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1948>
- Castillo-Trejo, E. Y., Flota-Bañuelos, C., Alcudia-Pérez, J., Fraire-Cordero, S., Rosales-Martínez, V., & Quej-Chí, V. H. (2023). Macrofauna edáfica y calidad del suelo en agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *14*(3), 413–424. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3108>
- Chávez-Suárez, L., Rodríguez-García, I., Torres-Cárdenas, V., Benítez-Jiménez, D., & Álvarez-Fonseca, A. (2023). Relación de la biota edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo en cinco pastizales de la provincia Granma. *Pastos y Forrajes*, *46*, 1–11. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=2324>
- Euteneuer, P., Wagentristsl, H., Steinkellner, S., Fuchs, M., Zaller, J. G., Piepho, H. P., & Butt, K. R. (2020). Contrasting effects of cover crops on earthworms: results from field monitoring and laboratory experiments on growth, reproduction, and food choice. *European Journal of Soil Biology*, *100*, Article 103225. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103225>
- Gedoz, M., Freitas, E. M., da Silva, V. L., & Johann, L. (2021). Edaphic invertebrates as indicators of soil integrity quality. *Floresta e Ambiente*, *28*(2), Article e20200069. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0069>
- Jiang, Y., Ma, N., Chen, Z., & Xie, H. (2018). Soil macrofauna assemblage composition and functional groups in no-tillage with corn stover mulch agroecosystems in a mollisol area of northeastern China. *Applied Soil Ecology*, *128*, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.04.006>
- Jiménez-Martínez, E. (2020). *Familia de insectos de Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria.
- Mesa-Pérez, M. A., Echemendía-Pérez, M., Valdés-Carmenate, R., Sánchez-Elías, S., & Guridi-Izquierdo, F. (2016). La macrofauna edáfica, indicadora de contaminación por metales pesados en suelos ganaderos de Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*, *39*(3), 116–124.

- Ministerio Agropecuario. (2019). *Mapa nacional del café*. Recuperado agosto 20, 2023, de <https://www.mag.gob.ni/index.php/mapas-interactivos/mapa-nacional-de-cafe>
- Morán Centeno, J. C., & Jiménez-Martínez, E. (2023). Caracterización de sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.) en la reserva natural Tepec-Xomolth, Madriz, Nicaragua. *Siembra*, *10*(1), Artículo e4402. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4402>
- Morel, A., & Ortiz Acosta, O. (2022). Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *5*(1), 996–1006. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-074>
- Presidente de la República de Nicaragua. (1991, noviembre 4). Decreto Ejecutivo n.o 42-91. Declaración de áreas protegidas en varios cerros macizos montañosos, volcanes y lagunas del país. *La Gaceta Diario Oficial*, (207). Recuperado noviembre 20, 2023, de <https://www.leybook.com/doc/8429>
- Quiroz Guerrero, I., Pérez Vázquez, A., Landeros Sánchez, C., Gallardo López, F., Velasco Velasco, J., & Benítez Badillo, G. (2021). Análisis bibliométrico del conocimiento científico sobre resiliencia de agroecosistemas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(4), 617–628. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2516>
- Quiroz Medina, C. R., Castellón, J. D., Cea Navas, N. E., Ortiz, M. S., & Zúniga-González, C. A. (2021). Caracterización de la macrofauna edáfica en diferentes sistemas agroforestales, en el Municipio de San Ramón, Departamento de Matagalpa, Nicaragua. *Nexo Revista Científica*, *34*(02), 572–582. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i02.11542>
- Quiroz-Medina, C. R., & Bárcenas-Lanzas, M. J. (2023). Caracterización y manejo del grado de complejidad de los componentes y biodiversidad y su efecto en las arvenses y macrofauna edáfica de tres fincas integrales en el occidente de Nicaragua. *Ecosistemas*, *32*(3), Artículo 2591. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2591>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez Flores, O., & Jiménez Martínez, E. (2019). *Órdenes de insectos de importancia agrícola en Nicaragua: identificación y diagnóstico*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/4035/>
- Rodríguez González, H. R., Jurgen Pohlen, H. A., & Salazar Centeno, D. J. (2022). Gangia index (\mathfrak{X}) of beta diversity and biomathematical equations applied to quantify the agroecological multifunctional entropy: macrofauna observed in agroecosystems of Nicaragua. *Canadian Journal of Agriculture and Crops*, *7*(2), 78–97. <https://doi.org/10.55284/cjac.v7i2.684>
- Rodríguez González, H. R., & Salazar Centeno, D. J. (2021). Agroecological heuristics: Xi (\mathfrak{X}) biomathematical models of alpha diversity and lambda functional entropy index (λ) applied for macrofauna in diversified agroecosystems of Nicaragua. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, *122*(2), 299–310. <https://doi.org/10.17170/kobra-202112035149>
- Rodríguez Suárez, L., Cuarán Pinto, S. P., & Suárez Salazar, J. C. (2019). Soil macrofauna and edaphic properties in coffee production systems in Southern Colombia. *Floresta e Ambiente*, *26*(3), Article e20180334. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.033418>
- Salgado García, S., Palma López, D. J., Lagunes Espinoza, L. D. C., & Castelán Estrada, M. (2013). *Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación para la producción sostenible de alimentos*. Colegio de Postgraduados.

- Scaglione, J., Montico, S., & Montero, G. (2023). Efectos a corto plazo de los cultivos de cobertura sobre propiedades y macrofauna del suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), Article e3645. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3645>
- Siu Palma, S. D., Jiménez-Martínez, E. S., & Morán Centeno, J. C. (2023). Alternativas biológicas para el manejo de *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en *Coffea arabica* L., Jalapa, Nicaragua. *Siembra*, 10(2), Artículo e5306. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.5306>
- Suárez Salazar, J. C., Duran Bautista, E. H., & Rosas Patiño, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agronómica*, 64(3), 214–220. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033>
- Valdez Arévalo, E. K. (2021). *Macrofauna en suelos con Coffea arabica L. “café” distrito de Moyobamba-provincia Moyobamba* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2086/TS_KEVA_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vargas-Larreta, B., Amezcua Rojas, M., López-Martínez, J. O., Cueto-Wong, J. A., Cruz-Cobos, F., Nájera-Luna, J. A., & Aguirre-Calderón, C. G. (2023). Estimación de los almacenes de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango, México. *Botanical Sciences*, 101(1), 90–101. <https://doi.org/10.17129/botsci.3094>
- Villalta-Villalobos, J., & Gatica-Arias, A. (2019). A look back in time: genetic improvement of coffee through the application of biotechnology. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 577–599. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34173>
- Zhang, Y., Peng, S., Chen, X., & Chen, H. Y. (2022). Plant diversity increases the abundance and diversity of soil fauna: a meta-analysis. *Geoderma*, 411, Article 115694. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115694>