DOI: https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2026.01.006

e-ISSN: 2954-3886

Section: Agricultural Science / Sección: Ciencia agrícola

CC BY NC ND

EN

Edaphic macrofauna and physicochemical properties of the soil in a non-traditional coffee (*Coffea canephora*) crop and a silvopastoral system in Córdoba, Colombia

ES

Macrofauna edáfica y propiedades fisicoquímicas del suelo en un cultivo no tradicional de café (*Coffea canephora*) y un sistema silvopastoril en Córdoba, Colombia

Jeyson Fernando Garrido-Pineda*[1]; Wilson Anchico-Jojoa[2]; Judith Del Carmen Martínez Atencia[3]; Eliecer Miguel Cabrales Herrera[4]; José Luis Rodríguez Vitola[3]

[1]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Carrera 25w # 19-29 Vallejo, Montería, Córdoba. Colombia.

[2]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Carrera 7a # 98 – 60, Portal del norte, Montería. Colombia.

[3]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, km 13 vía Montería-Cereté, Córdoba. CI Turipaná, Colombia.

[4]Universidad de Córdoba, Carrera 14 A 17-35 Barrio Urbina – Monteria, Córdoba. Colombia.

***Corresponding author:**
jfgarrido@agrosavia.co

Received: January 27, 2026
Accepted: June 1, 2026
Published online:
October 7, 2026

Abstract

Colombia is recognized worldwide for its production of high-quality coffee, which is one of the pillars of its agricultural economy and a central element of its productive identity. In light of the challenges posed by climate variability and the growing demand for *Coffea canephora*, efforts have been made to evaluate its cultivation in non-traditional areas such as the department of Córdoba. This study compared the structure of edaphic macrofauna and the physicochemical properties of the soil between a three-year-old coffee monoculture (CCS) and a silvopastoral system (SPS) that had been implemented for more than 15 years in the Turipaná Research Center of AGROSAVIA in Cereté, Córdoba. Samples were collected in triplicate at two depth strata (0–10 cm and 10–20 cm). A total of 344 individuals were recorded, with no differences in abundance between the systems. However, the silvopastoral system exhibited greater taxonomic richness, with 13 orders and 29 morphospecies compared to six orders and 13 morphospecies in the coffee system, a difference supported by the Margalef index (p = 0.0475). The physicochemical variables–volumetric moisture and electrical conductivity–were significantly higher in the silvopastoral system. Organic matter contents were similar between the two systems. The results provide a favorable preliminary indicator of the agroecological viability of coffee in the region, although medium- and long-term assessments are recommended to determine the trajectory of edaphic biodiversity under this production system.

Keywords: edaphic bioindicators, *Coffea canephora*, macroinvertebrate diversity, soil physicochemical properties, silvopastoral systems.

Resumen

Colombia es reconocido mundialmente por la producción de café de alta calidad, siendo este cultivo uno de los pilares de su economía agrícola y un elemento central de su identidad productiva. Ante los desafíos de la variabilidad climática y la creciente demanda de *Coffea canephora*, se ha impulsado su evaluación en zonas no tradicionales como el departamento de Córdoba. Este estudio comparó la estructura de la macrofauna edáfica y las propiedades fisicoquímicas del suelo entre un monocultivo de café (SCC) con tres años de establecimiento y un sistema silvopastoril (SSPP) con más de 15 años de

Please cite this article as follows (APA 7): Garrido-Pineda, J. F., Anchico-Jojoa, W., Martínez Atencia, J. C., Cabrales Herrera, E. M., & Rodríguez Vitola, J. L. (2026). Edaphic macrofauna and physicochemical properties of the soil in a non-traditional coffee (*Coffea canephora*) crop and a silvopastoral system in Córdoba, Colombia. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, *6*, e26006. doi: https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2026.01.006

Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical

implementación en el Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA, Cereté, Córdoba. Se realizaron muestreos por triplicado en dos estratos de profundidad (0–10 cm y 10–20 cm). Se registraron 344 individuos en total, sin diferencias en abundancia entre sistemas. Sin embargo, el sistema silvopastoril presentó mayor riqueza taxonómica, con 13 órdenes y 29 morfoespecies frente a seis órdenes y 13 morfoespecies en el café, diferencia respaldada por el índice de Margalef (p = 0.0475). Las variables fisicoquímicas humedad volumétrica y conductividad eléctrica fueron significativamente superiores en el silvopastoril. Los contenidos de materia orgánica fueron similares entre los dos sistemas. Los resultados constituyen un indicador preliminar favorable para la viabilidad agroecológica del café en la región, aunque se recomienda realizar evaluaciones de mediano y largo plazo para determinar la trayectoria de la biodiversidad edáfica bajo este sistema productivo.

Palabras clave: bioindicadores edáficos, *Coffea canephora*, diversidad de macroinvertebrados, propiedades fisicoquímicas del suelo, sistemas silvopastoriles.

Introduction

Coffee is one of the most economically and commercially significant agricultural products worldwide. Brazil, Vietnam, Colombia, and Indonesia remain among the leading producing countries, accounting for a significant share of global supply. Currently, global production is dominated by the species *Coffea arabica* and *Coffea canephora* (robusta), with the latter gaining a growing share of the international market due to its greater adaptability to challenging climatic conditions and rising industrial demand (International Coffee Organization [ICO], 2024).

Colombia is internationally recognized for its production of high-quality coffee, which is primarily associated with the cultivation of *Coffea arabica* under specific agroecological conditions of altitude, climate, and soil (Puerta et al., 2016). However, the Colombian coffee industry faces significant challenges stemming from climate variability, rising temperatures, and changes in precipitation patterns–factors that affect both the quality and yield of the crop (ICO, 2024; Montoya-Rendón et al., 2023). At the same time, there is growing interest in *Coffea canephora* as an alternative to diversify production and meet the demand for raw materials in emerging markets and for domestic consumption (ICO, 2024; Strategic Plan for Science, Technology, and Innovation in the Colombian Agricultural Sector [PECTIA], 2016). This situation has spurred the evaluation of new genotypes in non-traditional production areas, particularly in lower-altitude regions, with the department of Córdoba considered a promising area for establishing this crop due to its agroclimatic conditions and the potential for diversifying production in the coffee sector.

Coffee agroecosystems in Colombia are complex ecosystems that go beyond simple agricultural production. They represent true biodiversity hotspots that are

Introducción

El café constituye uno de los productos agrícolas de mayor relevancia económica y comercial a nivel mundial. Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia se mantienen entre los principales países productores, concentrando una proporción significativa de la oferta global. Actualmente, la producción mundial se encuentra dominada por las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (robusta), esta última con una creciente participación en el mercado internacional debido a su mayor adaptabilidad a condiciones climáticas restrictivas y a la creciente demanda industrial (International Coffee Organization [ICO], 2024).

Colombia es reconocido internacionalmente por la producción de café de alta calidad, asociada principalmente al cultivo de *Coffea arabica* bajo condiciones agroecológicas particulares de altitud, clima y suelo (Puerta et al., 2016). Sin embargo, la caficultura colombiana enfrenta importantes desafíos derivados de la variabilidad climática, el incremento de las temperaturas y las alteraciones en los patrones de precipitación, factores que afectan tanto la calidad como el rendimiento del cultivo (ICO, 2024; Montoya-Rendón et al., 2023). Paralelamente, existe un creciente interés por *Coffea canephora* como alternativa para diversificar la producción y suplir la demanda de materia prima para mercados emergentes y consumo interno (ICO, 2024; Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano [PECTIA], 2016). Esta situación ha impulsado la evaluación de nuevos genotipos en zonas no tradicionales de producción, particularmente en regiones de menor altitud, siendo el departamento de Córdoba considerado como una zona promisoria para el establecimiento de este cultivo, debido a sus condiciones agroclimáticas y al potencial de diversificación productiva del sector cafetero.

home to a rich variety of plants, animals, and microorganisms. Although traditional agricultural expansion has been responsible for the loss of biodiversity, these systems have proven to be fundamental to conservation. Coffee plantations with heterogeneous vegetation, characterized by tall, diverse, and dense canopies, manage to maintain levels of bird and plant richness similar to those found in less disturbed habitats (Rojas et al., 2024).

Given the complexity of these ecosystems, studying their biodiversity is essential, particularly through biological indicators such as edaphic macrofauna. From a scientific perspective, these organisms serve as excellent bioindicators of soil health and productivity. The diversity and abundance of macrofauna vary depending on agricultural practices: it has been demonstrated that systems with greater plant diversity have a greater richness of macroinvertebrates compared to monocultures (Cabrera-Dávila, 2022; Mamabolo et al., 2024; Meneses & Reina, 2015; Quiroz et al., 2017).

In this context, the present study aims to compare the structure and dynamics of edaphic macrofauna and the physicochemical properties of the soil between a non-traditional coffee crop (*Coffea canephora*) and a silvopastoral system in the department of Córdoba, Colombia. The research aims to answer the following questions: Are there differences in the abundance and taxonomic richness of edaphic macrofauna between the coffee monoculture and the silvopastoral system? How do the physicochemical properties of the soil behave in both systems, and how do they relate to the edaphic macrofauna community?

Materials and Methods

Study area

The study was conducted at the Turipaná Research Center of the Colombian Agricultural Research Corporation (AGROSAVIA, by its Spanish acronym), located at 8°51' N, 75°49' W in the municipality of Cereté, Córdoba, Colombia. It is located at an elevation of 14 meters above sea level, with cumulative precipitation of 1200 mm per year, an average temperature of 28°C, and an average relative humidity of 82 %. Precipitation in the Middle Sinú River Valley region exhibits a bimodal pattern, with two well-defined periods: a rainy season from April through November, and a dry season from December through March. The study area belongs to the tropical dry forest (Bs-T, by its Spanish acronym) agroecological area (Holdridge, 2000). The soils are classified as vertic endoaquepts (Soil Survey Staff, 2014), belonging to the La Pozona series, with a predominance of fine textures (expansive clay, 2:1 type), an Udic moisture regime with

Los agroecosistemas de café en Colombia son ecosistemas complejos que van más allá de la simple producción agrícola. Representan verdaderos espacios de biodiversidad que albergan una rica variedad de plantas, animales y microorganismos. A pesar de que la expansión agrícola tradicional ha sido responsable de la pérdida de diversidad, estos sistemas han demostrado ser fundamentales para la conservación. Los cafetales con vegetación heterogénea, caracterizados por doseles altos, diversos y densos, logran mantener niveles de riqueza en aves y plantas similares a los hábitats menos intervenidos (Rojas et al., 2024).

Considerando la complejidad de estos ecosistemas, el estudio de su biodiversidad se vuelve fundamental, especialmente a través de indicadores biológicos como la macrofauna edáfica. Desde un punto de vista científico, estos organismos son excelentes bioindicadores del estado de conservación y productividad del suelo. La diversidad y abundancia de la macrofauna varían según las prácticas agrícolas, habiéndose demostrado que los sistemas con mayor variedad vegetal presentan una mayor riqueza de macroinvertebrados en comparación con los monocultivos (Cabrera-Dávila, 2022; Mamabolo et al., 2024; Meneses & Reina, 2015; Quiroz et al., 2017).

En este contexto, el presente estudio busca comparar la estructura y dinámica de la macrofauna edáfica y las propiedades fisicoquímicas del suelo entre un cultivo no tradicional de café (*Coffea canephora*) y un sistema silvopastoril en el departamento de Córdoba, Colombia. La investigación pretende responder las siguientes preguntas: ¿existen diferencias en la abundancia y riqueza taxonómica de la macrofauna edáfica entre el monocultivo de café y el sistema silvopastoril? ¿cómo se comportan las propiedades fisicoquímicas del suelo en ambos sistemas y qué relación tienen con la comunidad de macrofauna edáfica?

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el Centro de Investigación Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado a 8°51' N, 75°49' W en el municipio de Cereté, Córdoba, Colombia. Se encuentra a una altura de 14 msnm, con precipitación acumulativa de 1200 mm por año, temperatura media de 28°C y humedad relativa media de 82 %. Las precipitaciones en la región del Valle Medio del rio Sinú presentan comportamiento bimodal, con dos periodos bien definidos, uno lluvioso comprendido entre los meses de abril y noviembre, y otro seco entre los meses de diciembre y marzo. El área de estudio pertenece a la zona agroecológica bosque seco tropical (Bs-T) (Holdridge, 2000). Los suelos

aquic periods, isohyperthermic temperature, and medium to high fertility.

Treatments

The treatments evaluated included a coffee cultivation system (CCS) (*Coffea canephora*) that had been established for three years, developed on an area of 3.000 m^2. In this system, three points were selected, distributed evenly to allow for the necessary replicates in the evaluations. The other system evaluated was a silvopastoral system (SPS) that had been implemented for more than 15 years, characterized by the presence of trees along the edges of the area. In this case, three sampling points were selected at random within the plots to ensure the representativeness of the measurements.

Macrofauna sampling method

Soil macroinvertebrates were collected according to the methodology described by Anderson & Ingram (1993). A 700 cm^2 monolith was used and divided into two soil strata (0-10 cm and 10-20 cm). Each monolith was examined manually to collect the organisms present, using trays and entomological forceps. The specimens were stored in 70 % alcohol, except for earthworms, which were counted and released *in situ*.

The samples collected in the field were transported to and stored at the Turipaná Research Center's network of laboratories, where they were processed according to established procedures. The collected organisms were examined and classified to the order level, in accordance with the guidelines provided by the Sociedad Entomológica Aragonesa [SEA], (2017) and Triplehorn et al. (2005).

The Margalef diversity index was calculated to assess the relative taxonomic richness of the edaphic macrofauna in each system and at each sampling depth (Cabrera-Dávila et al., 2022; Mamabolo et al., 2024). This adjusted diversity index was calculated using the following formula:

$$I = \frac{(s-1)}{LnN}$$

Where:
I = biodiversity
s = number of taxa present
Ln = denotes the natural logarithm of a number
N = abundance

Soil physicochemical variables

To assess these variables, samples were collected in triplicate around the macrofauna sampling points.

corresponden a un vertic endoaquepts (Soil Survey Staff, 2014), perteneciente a la serie La Pozona, con predomino de textura finas (arcillosas de tipo expansiva, tipo 2:1), régimen de humedad Udico con periodos ácuico, temperatura isohipertérmica y fertilidad media a alta.

Tratamientos

Los tratamientos evaluados incluyeron un sistema de cultivo de café (SCC) (*Coffea canephora*) con tres años de establecimiento, desarrollado en una superficie de 3.000 m^2. En este sistema se seleccionaron tres puntos, distribuidos de manera homogénea para realizar las repeticiones necesarias en las evaluaciones. El otro sistema evaluado fue un sistema silvopastoril (SSPP) con más de 15 años de implementación, caracterizado por la presencia de árboles en los bordes del área. En este caso, se tomaron tres puntos de muestreo de forma aleatoria dentro de los lotes para garantizar la representatividad de las mediciones.

Método de muestreo de macrofauna

La colecta de macroinvertebrados del suelo se realizó de acuerdo con la metodología de Anderson & Ingram (1993), se utilizó un monolito de 700 cm^2 que fue separado en dos estratos de suelo (0-10 cm y 10-20 cm). Cada monolito se examinó manualmente para colectar los organismos presentes, utilizando bandejas y pinzas entomológicas. Los especímenes se almacenaron en alcohol al 70 %, excepto las lombrices de tierra, que se contaron y liberaron *in situ*.

Las muestras recolectadas en el campo se transportaron y almacenaron en la red de laboratorios del Centro de Investigación Turipaná, donde se procesaron de acuerdo con los procedimientos establecidos. Los organismos recolectados fueron examinados y clasificados hasta el nivel de orden, de acuerdo con lo señalado por la Sociedad Entomológica Aragonesa [SEA], (2017) y Triplehorn et al. (2005).

Se calculó el índice de diversidad de Margalef para evaluar la riqueza taxonómica relativa de la macrofauna edáfica en cada sistema y profundidad de muestreo (Cabrera-Dávila et al., 2022; Mamabolo et al., 2024). Este índice de diversidad ajustada se calculó de acuerdo con la siguiente expresión:

$$I = \frac{(s-1)}{LnN}$$

Donde:
I = biodiversidad
s = número de taxones presentes
Ln = denota el logaritmo neperiano de un número
N = abundancia

Temperature, electrical conductivity (EC), and volumetric water content (VWC%) were measured in the top 20 cm of depth using a FieldScout TDR 350 time-domain reflectometer (Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, USA.), which also enabled georeferencing of the sampling points via its built-in GPS. Concurrently, the mechanical resistance to penetration (MRP), was determined; this was measured from the surface to a depth of 80 cm using the PenetroLogger Stiboka de Eijkelkamp digital penetrometer and is reported in MPa. To determine organic matter (OM), samples were collected from the top 30 cm of soil.

Statistical analysis

Using the data obtained, compliance with the assumptions of normality and homogeneity of variances was verified using the Shapiro-Wilk test and Levene's test, respectively. For variables with a measurement design based on production system and depth (macrofauna abundance, Margalef index, and mechanical resistance to penetration), a two-way analysis of variance (two-way ANOVA, type II) was applied, considering the production system and sampling depth as factors, as well as their interaction. For the physicochemical variables measured without regard to depth [volumetric water content (VWC%) and electrical conductivity (EC)], a one-way ANOVA was conducted. Means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). Variables that did not meet the assumptions of normality were logarithmically transformed prior to parametric analysis.

Results and Discussion

Soil macrofauna

After processing the samples, a total of 344 individuals were recorded. In the SPS, an average of 31.3 ± 14.2 individuals was recorded in the 0–10 cm layer and 26.3 ± 28.9 individuals in the 10–20 cm layer, whereas in the coffee monoculture (CCS), an average of 43.7 ± 3.5 individuals was recorded in the 0–10 cm layer and 13.3 ± 10.1 individuals in the 10–20 cm layer (Figure 1). No significant differences were found between systems or between depths (Tukey, $p > 0.05$).

Regarding the taxonomic composition in CCS, 171 individuals were found, distributed in 6 orders and 13 morphospecies. The most well-represented orders were Hymenoptera, with 81 individuals and 3 morphospecies; Diplopoda, with 40 individuals distributed in 4 morphospecies; and earthworms of Haplotaxida, with 35 individuals. On the other hand, 173 individuals, 13 orders, and 29 morphospecies were found in SPS. The orders with the highest number of individuals in SPS were Coleoptera, with 49 individuals and 9 mor-

Variables fisicoquímicas del suelo

Para la evaluación de estas variables, se realizaron muestreos por triplicado alrededor de los puntos de muestreo de macrofauna. La temperatura, la conductividad eléctrica (CE) y la humedad volumétrica del suelo (VWC%) se midieron en los primeros 20 cm de profundidad utilizando un reflectómetro de dominio temporal FieldScout TDR 350 (Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, EE.UU.), el cual también permitió la georreferenciación de los puntos de muestreo mediante su GPS integrado. De forma paralela, se determinó la resistencia mecánica a la penetración (RMP), la cual fue medida desde la superficie hasta una profundidad de 80 cm empleando el penetrómetro digital PenetroLogger Stiboka de Eijkelkamp y se reporta en MPa. Para la obtención de materia orgánica (MO), se tomaron muestras en los primeros 30 cm del suelo.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente. Para las variables con diseño de mediciones por sistema y profundidad (abundancia de macrofauna, índice de Margalef y resistencia mecánica a la penetración) se aplicó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA bifactorial, tipo II), considerando como factores el sistema de producción y la profundidad de muestreo, así como su interacción. Para las variables fisicoquímicas medidas sin distinción de profundidad [humedad volumétrica (VWC%) y conductividad eléctrica (CE)] se realizó el ANOVA de una vía. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Las variables que no cumplieron los supuestos de normalidad fueron transformadas logarítmicamente previo al análisis paramétrico.

Resultados y Discusión

Macrofauna del suelo

Tras el procesamiento de las muestras se registraron 344 individuos en total. En el SSPP se registró un promedio de 31.3 ± 14.2 individuos en el estrato 0–10 cm y 26.3 ± 28.9 individuos en el estrato 10–20 cm, mientras que en el monocultivo de café (SCC) se obtuvo un promedio de 43.7 ± 3.5 individuos en el estrato 0–10 cm y 13.3 ± 10.1 individuos en el estrato 10–20 cm (Figura 1). No se encontraron diferencias significativas entre sistemas ni entre profundidades (Tukey, $p > 0.05$).

Respecto a la composición taxonómica en SCC se encontraron 171 individuos distribuidos en 6 órdenes

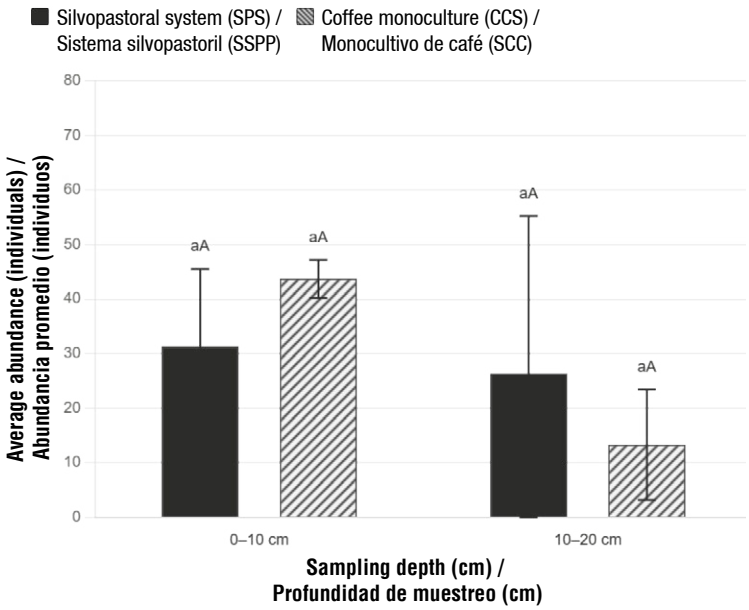


Figure 1. Total abundance in the evaluated systems.
Figura 1. Abundancia total en los sistemas evaluados.

Barras de error = desviación estándar (n=3). Letras minúsculas: comparación entre tratamientos. Letras mayúsculas: comparación entre profundidades. Misma letra = sin diferencia significativa (prueba de Tukey, $p > 0,05$).
Error bars = standard deviation (n=3). Lowercase letters: comparison between treatments. Uppercase letters: comparison between depths. Same letter = no significant difference (Tukey's test, $p > 0,05$).

phospecies; Hymenoptera, with 42 individuals and 4 morphospecies; and Diplopoda, with 31 individuals and 3 morphospecies (Figure 2).

Macrofauna abundance did not show significant differences between the 0–10 cm and 10–20 cm soil layers in either of the two systems evaluated (Tukey, $p > 0.05$). This result is consistent with the recognition that the biological activity of edaphic macrofauna is concentrated primarily in the top 20–30 cm of soil, a layer that has the highest root density and is most susceptible to agronomic activities. In this regard, the top 20 cm constitute a functional unit where macrofauna activity promotes root distribution and the availability of poorly mobile nutrients such as phosphorus, while regulating processes of humification, mineralization of organic matter, and interactions with microorganisms. The homogeneous distribution observed across strata suggests that, in both systems, this surface zone maintains conditions that favor the presence and activity of edaphic invertebrates in a relatively uniform manner throughout the evaluated profile (Anitha, 2020; Sofo et al., 2020). Similar results were reported by Quiroz-Medina et al. (2021) in coffee plantations established within agroforestry systems in Nicaragua, where the highest density of macrofauna occurred in the top 10 cm, reaffirming that this layer is the most biologically active within the soil profile.

y 13 morfoespecies. Los órdenes más representados fueron Hymenóptera con 81 individuos y 3 morfoespecies, Diplopoda con 40 individuos distribuidos en 4 morfoespecies y las lombrices de tierra Haplotaxida con 35 individuos. Por otro lado, para SSPP se encontraron 173 individuos, 13 órdenes y 29 morfoespecies. Los órdenes con mayor número de individuos en el SSPP fueron Coleóptera con 49 individuos y 9 morfoespecies, Hymenóptera con 42 individuos y 4 morfoespecies y Diplópodo con 31 individuos y 3 morfoespecies (Figura 2).

La abundancia de macrofauna no mostró diferencias significativas entre los estratos 0–10 cm y 10–20 cm en ninguno de los dos sistemas evaluados (Tukey, $p > 0.05$). Este resultado es coherente con el reconocimiento de que la actividad biológica de la macrofauna edáfica se concentra principalmente en los primeros 20–30 cm del suelo, capa que tiene la mayor densidad radicular y es la más susceptible a las actividades agronómicas. En este sentido, los primeros 20 cm constituyen una unidad funcional donde la actividad de la macrofauna favorece la distribución radicular y la disponibilidad de nutrientes poco móviles como el fósforo, al tiempo que regula procesos de humificación, mineralización de materia orgánica e interacciones con microorganismos. La distribución homogénea observada entre estratos sugiere que, en ambos sistemas, esta zona

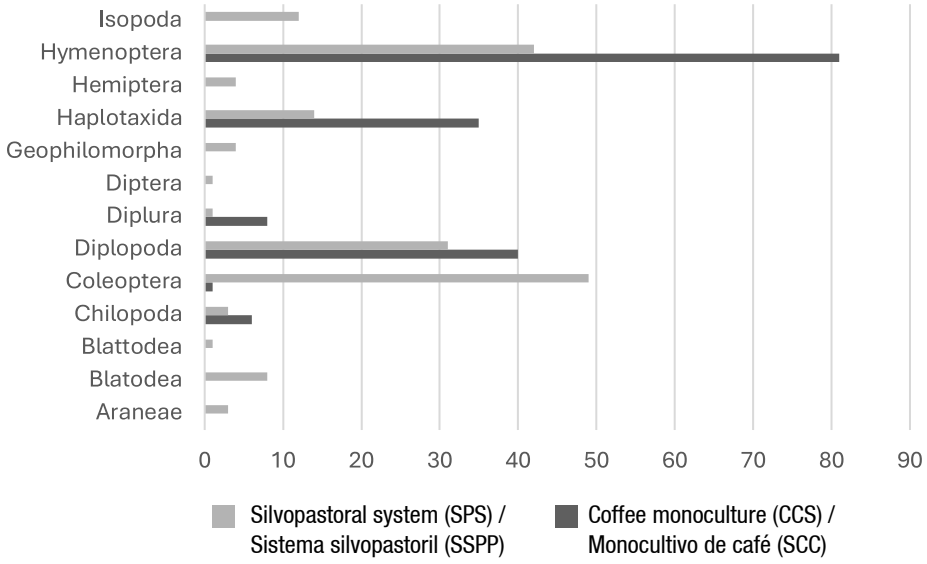


Figure 2. Taxonomic composition of edaphic macrofauna by order in the coffee monoculture (*Coffea canephora*) and the silvopastoral system in Córdoba, Colombia.

Figura 2. Composición taxonómica de la macrofauna edáfica por orden en el monocultivo de café (*Coffea canephora*) y el sistema silvopastoril en Córdoba, Colombia.

Diversity indices

The Margalef index showed significant differences between systems (p = 0.0475), with the SPS exhibiting the highest relative taxonomic richness (diversity) at both depths evaluated. In the 0–10 cm stratum, it recorded a value of 2.86 ± 0.38 compared to 1.49 ± 0.52 for CCS, while in the 10–20 cm stratum, the values were 2.51 ± 1.28 and 1.50 ± 1.03, respectively (Table 1). No significant differences were found between depths, nor in the system × depth interaction (p > 0.05), indicating that the higher richness of SPS is consistently maintained throughout the evaluated profile.

These results indicate that, under the conditions in Cereté, CCS established for three years exhibits significantly lower taxonomic richness than SPS, as evidenced by the Margalef index values (p = 0.0475). This pattern is consistent with reports from coffee plantations in southern Colombia, where more diversified systems exhibited higher density and diversity of macrofauna, particularly oligochaetes and diplopods (Suárez et al., 2019), and with studies of organic coffee plantations that recorded better soil biological quality compared to conventional systems (Velmourougane, 2016). However, given the short establishment period of the evaluated coffee crop, long-term studies are needed to determine whether this difference in species richness increases, remains stable, or tends to equal that of the silvopastoral system as the system matures.

superficial mantiene condiciones que favorecen la presencia y actividad de los invertebrados edáficos de manera relativamente uniforme a lo largo del perfil evaluado (Anitha, 2020; Sofo et al., 2020). Resultados similares fueron reportados por Quiroz-Medina et al. (2021) en cafetales establecidos dentro de sistemas agroforestales en Nicaragua, donde la mayor densidad de macrofauna se presentó en los primeros 10 cm de profundidad, reafirmando que esta capa es la más activa biológicamente dentro del perfil del suelo.

Índices de diversidad

El índice de Margalef mostró diferencias significativas entre sistemas (p = 0.0475), siendo el SSPP el que presentó mayor riqueza taxonómica (diversidad) relativa en ambas profundidades evaluadas. En el estrato de 0–10 cm registró un valor de 2.86 ± 0.38 en comparación con 1.49 ± 0.52 de SCC, mientras que en el estrato de 10–20 cm los valores fueron de 2.51 ± 1.28 y 1.50 ± 1.03 respectivamente (Cuadro 1). No se encontraron diferencias significativas entre profundidades, ni en la interacción sistema × profundidad (p > 0.05), lo que indica que la mayor riqueza en SSPP se mantiene de manera consistente a lo largo del perfil evaluado.

Estos resultados indican que, bajo las condiciones de Cereté, SCC con tres años de establecimiento presenta una riqueza taxonómica significativamente menor que el SSPP, evidenciada por los valores del índice de

Table 1. Margalef diversity index for the systems and depths evaluated.
Cuadro 1. Índice de diversidad de Margalef para los sistemas y profundidades evaluadas.

Depth / Profundidad	Silvopastoral (SPS) / Silvopastoril (SSPP)	Coffee (CCS) / Café (SCC)
0-10 cm	2.86 ± 0.38 a	1.49 ± 0.52 b
10-20 cm	2.51 ± 1.28 a	1.50 ± 1.03 b

Soil physicochemical variables

Mechanical resistance to penetration (MRP) increased significantly with depth in both systems evaluated (p = 0.0044). In the 0–10 cm layer, the values were 1.40 ± 0.40 MPa for CCS and 1.52 ± 0.59 MPa for SPS, while in the 10–20 cm layer, values of 1.74 ± 0.30 MPa and 2.11 ± 0.49 MPa were recorded, respectively. No significant differences were found between the systems at any of the evaluated depths (Tukey, p = 0.1576), suggesting that both systems exhibit similar compaction conditions in the evaluated profile (Figure 3).

This increase in mechanical resistance to penetration (MRP) with depth is consistent with the decrease in oxygen and organic matter availability in deeper horizons, conditions that may limit the activity of edaphic macrofauna, although this study found no significant differences in abundance between strata (p > 0,05), which reinforces the view that the top 20 cm constitute a functional unit with relatively homogeneous conditions for soil biota (Sofo et al., 2020; Anitha, 2020).

VWC% showed significant differences between the systems (p = 0.0047), with higher values in SPS (48.04 ± 3.92 %) compared to CCS (36.99 ± 7.94 %). Similarly, EC was significantly higher in SPS (0.363 ± 0.064 $dS \cdot m^{-1}$) than in CCS (0.273 ± 0.086 $dS \cdot m^{-1}$) (p = 0.0371) (Table 2). In both systems, EC values were below 2,0 $dS \cdot m^{-1}$, the threshold above which salinity is considered to negatively affect crop development and soil biological activity; therefore, no conditions of salt stress were identified in any of the evaluated systems. Two of the SPS measurements were discarded due to a battery failure in the FieldScout TDR 350 device during sampling; therefore, the analysis was conducted with n=9 for coffee and n=7 for silvopastoral systems.

The higher VWC% and EC in SPS reflect the decisive role that tree cover and biomass accumulation play in regulating soil properties. The continuous incorporation of leaf litter and roots, along with the protection of the soil from direct solar radiation, promotes both water conservation and the availability of ionized nutrients in solution. These results are consistent with those reported in agroforestry and coffee systems under organic management, where soil properties have

Margalef (p = 0.0475). Este patrón es consistente con lo reportado en cafetales del sur de Colombia, donde los sistemas más diversificados presentaron mayor densidad y diversidad de macrofauna, especialmente oligoquetos y diplópodos (Suárez et al., 2019), y con estudios en plantaciones de café orgánico que registraron mejor calidad biológica del suelo frente a sistemas convencionales (Velmourougane, 2016). Sin embargo, dado el corto tiempo de establecimiento del cultivo de café evaluado, se requieren estudios a largo plazo para determinar si esta diferencia en riqueza se acentúa, se mantiene o tiende a equipararse con la del sistema silvopastoril a medida que el sistema madura.

Variables fisicoquímicas del suelo

La resistencia mecánica a la penetración (RMP) aumentó significativamente con la profundidad en ambos sistemas evaluados (p = 0.0044). En el estrato 0–10 cm los valores fueron de 1.40 ± 0.40 MPa en SCC y 1.52 ± 0.59 MPa en SSPP, mientras que en el estrato 10–20 cm se registraron valores de 1.74 ± 0.30 MPa y 2.11 ± 0.49 MPa respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre sistemas en ninguna de las profundidades evaluadas (Tukey, p = 0.1576), lo que sugiere que ambos sistemas presentan condiciones de compactación similares en el perfil evaluado (Figura 3).

Este incremento de la RMP con la profundidad es consistente con la disminución de la disponibilidad de oxígeno y materia orgánica en horizontes más profundos, condiciones que pueden limitar la actividad de la macrofauna edáfica, aunque en este estudio no se encontraron diferencias significativas en abundancia entre estratos (p > 0,05), lo que refuerza el planteamiento de que los primeros 20 cm constituyen una unidad funcional con condiciones relativamente homogéneas para la biota del suelo (Sofo et al., 2020; Anitha, 2020).

La VWC% presentó diferencias significativas entre sistemas (p = 0.0047), con valores superiores en SSPP (48.04 ± 3.92 %) en comparación con SCC (36.99 ± 7.94 %). De igual forma, la CE fue significativamente mayor en SSPP (0.363 ± 0.064 $dS \cdot m^{-1}$) que en SCC (0.273 ± 0.086 $dS \cdot m^{-1}$) (p = 0.0371) (Cuadro 2). En ambos

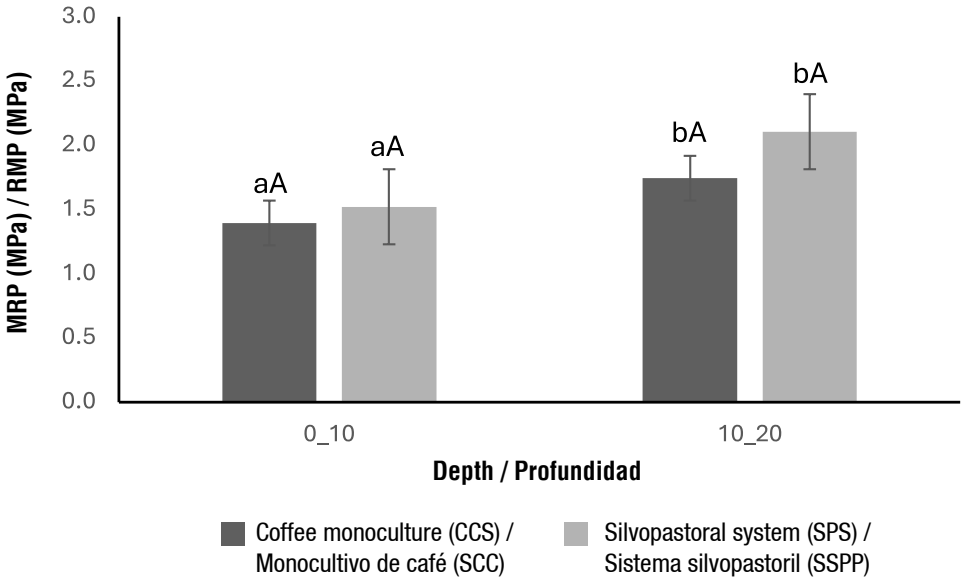


Figure 3. Mechanical resistance to penetration in the evaluated systems.
Figura 3. Resistencia mecánica a la penetración en los sistemas evaluados.

Barras de error = desviación estándar (n=9). Letras minúsculas: comparación entre profundidades (prueba de Tukey, $p < 0.05$). Misma letra entre sistemas por profundidad = sin diferencia significativa ($p > 0.05$).
Error bars = standard deviation (n=9). Lowercase letters: comparison between depths (Tukey's test, $p < 0.05$). Same letter among systems within a depth = no significant difference ($p > 0.05$).

Table 2. Electrical conductivity (EC) and Soil moisture (VWC%).
Cuadro 2. Conductividad Eléctrica (CE) y Humedad del suelo (VWC%).

Variable / Variable	Silvopastoral (SPS) / Silvopastoril (SSPP)	Coffee (CCS) / Café (SCC)
Moisture VWC% / Humedad VWC%	48.04 ± 3.92 a	36.99 ± 7.94 b
EC ($dS \cdot m^{-1}$) / CE ($dS \cdot m^{-1}$)	0.363 ± 0.064 a	0.273 ± 0.086 b

been shown to perform better than in more simplified systems (Suárez et al., 2019; Velmourougane, 2016) and are consistent with the recognition that diversified systems with higher inputs of organic residues increase water-holding capacity and soil fertility.

In contrast, the CCS exhibited lower values for VWC% and EC, reflecting a lower capacity for microenvironmental regulation compared to SPS. This difference in edaphic conditions is consistent with the lower taxonomic richness (biodiversity) recorded in the CCS, as evidenced by the Margalef index values ($p = 0.0475$). The greater variability observed in the physicochemical variables of CCS indicates a more sensitive response to environmental fluctuations, an aspect that should be monitored in medium- and long-term assessments to determine its effect on the stability of the edaphic microfauna community.

sistemas los valores de CE se encuentran por debajo de 2,0 $dS \cdot m^{-1}$, umbral a partir del cual se considera que la salinidad puede afectar negativamente el desarrollo de los cultivos y la actividad biológica del suelo, por lo que no se identificaron condiciones de estrés salino en ninguno de los sistemas evaluados. Dos de las mediciones en SSPP fueron descartadas por una falla en la batería del equipo FieldScout TDR 350 durante el muestreo, por lo que el análisis se realizó con n=9 para café y n=7 para silvopastoril.

La mayor VWC% y CE en SSPP refleja el papel determinante que tiene la cobertura arbórea y la acumulación de biomasa en la regulación de las propiedades edáficas. La incorporación continua de hojarasca y raíces, junto con la protección del suelo frente a la radiación solar directa, favorece tanto la conservación hídrica como la disponibilidad de nutrientes ionizados en

Soil organic matter (OM) values were slightly higher in CCS (2.15 g·100 g^{-1}) than in SPS (2.12 g·100 g^{-1}), with no significant differences between the systems (p > 0.05). Although the similarity in OM content suggests that both systems maintain relatively equivalent nutrient cycling processes in the short term, the short establishment period of the coffee crop limits extrapolations regarding its future trajectory as an indicator of soil quality (Figure 4).

The slight increase in organic matter (OM) in the CCS could be attributed to the early accumulation of root biomass and to the organic inputs resulting from agronomic management during the first years of establishment, whereas in SPS, the stability of OM reflects the continuous decomposition of leaf litter and roots in a system with a longer consolidation period, a process that is critical for nutrient recycling and the maintenance of soil carbon (Delgado-Vargas & Benavides-Franco, 2024). Nonetheless, the present study characterized the quantity of organic matter but not its quality, an aspect that could reveal functional differences between systems that are not detectable through the determination of total OM (Lavallee et al., 2020). This distinction is particularly relevant given that the quality of organic matter directly influences the activity and diversity of soil macrofauna; therefore, it is recommended to incorporate analyses of organic carbon fractions into medium- and long-term studies to more accurately understand the trajectory of both production systems (Matos et al., 2023).

solución. Estos resultados coinciden con lo reportado en sistemas agroforestales y de café bajo manejo orgánico, donde se ha evidenciado mejor desempeño de las propiedades edáficas frente a sistemas más simplificados (Suárez et al., 2019; Velmourougane, 2016), y son consistentes con el reconocimiento en el que, los sistemas diversificados con mayores aportes de residuos orgánicos incrementan la capacidad de retención hídrica y la fertilidad del suelo.

En contraste, el SCC presentó valores inferiores de VWC% y CE, lo que refleja una menor capacidad de regulación microambiental respecto a SSPP. Esta diferencia en las condiciones edáficas es consistente con la menor riqueza taxonómica (biodiversidad) registrada en SCC, evidenciada por los valores del índice de Margalef (p = 0.0475). La mayor variabilidad observada de las variables fisicoquímicas del SCC indica una respuesta más sensible frente a las fluctuaciones ambientales, aspecto que debe ser monitoreado en evaluaciones de mediano y largo plazo para determinar su efecto sobre la estabilidad de la comunidad de macrofauna edáfica.

Los valores de materia orgánica del suelo (MO) fueron ligeramente superiores en SCC (2.15 g·100 g^{-1}) respecto a SSPP (2.12 g·100 g^{-1}), sin diferencias significativas entre sistemas (p > 0.05). Aunque la similitud en los contenidos de MO sugiere que ambos sistemas mantienen procesos de ciclaje de nutrientes relativamente

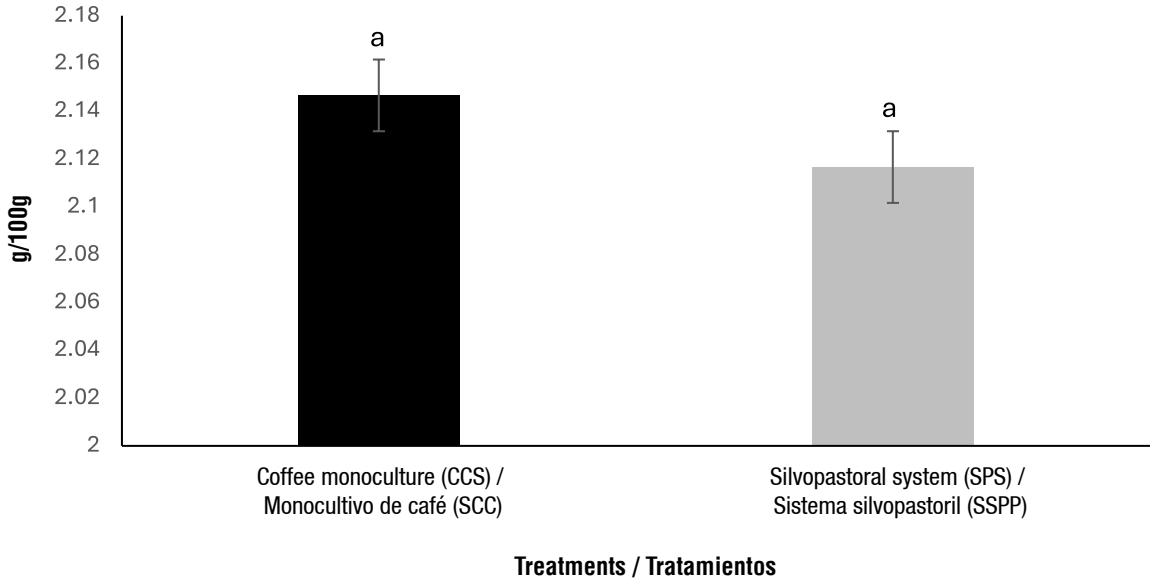


Figure 4. Organic matter content in the evaluated systems. Error bars = standard deviation (n=3). Lowercase letters indicate groups with comparable means (Tukey's test, p > 0,05). Same letter = no significant difference between systems.

Figura 4. Contenido de materia orgánica en sistemas evaluados. Barras de error = desviación estándar (n=3). Letras minúsculas indican grupos de comparación de medias (prueba de Tukey, p > 0,05). Misma letra = sin diferencia significativa entre sistemas.

Conclusions

Soil macrofauna showed similar total abundances between the coffee monoculture (CCS) and the silvopastoral system (SPS) (p > 0,05), however, SPS exhibited greater relative taxonomic richness, as evidenced by significantly higher Margalef index values (p = 0.0475), as well as a greater number of orders (13 *vs* 6) and morphospecies (29 *vs* 13). These qualitative differences suggest that, although CCS does not compromise soil abundance in the short term, its lower structural diversity could have implications for soil biological functionality that should be evaluated in medium- and long-term studies.

The SPS exhibited superior physicochemical conditions, with higher volumetric water content (VWC%) (48.04 ± 3.92 % *vs* 36.99 ± 7.94 %, p = 0.0047) and electrical conductivity (EC) (0.363 ± 0.064 *vs* 0.273 ± 0.086 dS·m^{-1}, p = 0.0371), highlighting the decisive role of tree cover in regulating soil properties. In both systems, EC values remained below the salinity threshold (2.0 dS·m^{-1}).

Organic matter (OM) contents did not show significant differences between systems (2.15 ± 0.46 *vs* 2.12 ± 0.31 g·100 g^{-1}, p = 0.930), suggesting a short-term equilibrium in nutrient cycling processes. However, the lack of analysis of OM quality represents a limitation of the study; therefore, it is recommended that analyses of organic carbon fractions be incorporated into future research to more accurately understand the dynamics of both systems.

The results suggest that the establishment of coffee (*Coffea canephora*) (CCS) in non-traditional areas of the department of Córdoba does not have immediate negative impacts on macrofauna abundance or organic matter (OM) content, which constitutes a favorable preliminary indicator of the agroecological viability of this crop in the region. However, the differences observed in taxonomic richness compared to the established SPS indicate that its definitive recommendation must be contingent upon medium- and long-term evaluations to determine the trajectory of edaphic biodiversity and soil quality under this production system.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Colombian Agricultural Research Corporation (AGROSAVIA, by its Spanish acronym) for providing the facilities and resources of the Turipaná Research Center for the conduct of this research, and the Colombian Ministry of Agriculture and Rural Development for its institutional support. We would also like to thank the University of Córdoba and

equivalentes en el corto plazo, el reducido tiempo de establecimiento del cultivo de café limita extrapolaciones sobre su trayectoria futura como indicador de calidad del suelo (Figura 4).

El ligero incremento de MO en el SCC podría atribuirse a la acumulación temprana de biomasa radicular y a los aportes orgánicos propios del manejo agronómico durante los primeros años de establecimiento, mientras que en SSPP la estabilidad de la MO refleja la descomposición continua de hojarasca y raíces en un sistema con mayor tiempo de consolidación, proceso determinante para el reciclaje de nutrientes y el mantenimiento del carbono edáfico (Delgado-Vargas & Benavides-Franco, 2024). No obstante, el presente estudio caracterizó la cantidad de materia orgánica pero no su calidad, dimensión que podría revelar diferencias funcionales entre sistemas no detectables mediante la determinación de MO total (Lavallee et al., 2020). Esta distinción resulta especialmente relevante dado que la calidad de la MO influye directamente sobre la actividad y diversidad de la macrofauna edáfica, por lo que se recomienda incorporar análisis de fracciones de carbono orgánico en estudios de mediano y largo plazo para comprender con mayor precisión la trayectoria de ambos sistemas productivos (Matos et al., 2023).

Conclusiones

La macrofauna edáfica mostró abundancias totales similares entre el monocultivo de café (SCC) y el sistema silvopastoril (SSPP) (p > 0,05), sin embargo, SSPP presentó mayor riqueza taxonómica relativa, evidenciada por valores significativamente superiores del índice de Margalef (p = 0.0475), así como mayor número de órdenes (13 *vs* 6) y morfoespecies (29 *vs* 13). Estas diferencias cualitativas sugieren que, aunque SCC no compromete la abundancia edáfica en el corto plazo, su menor diversidad estructural podría tener implicaciones sobre la funcionalidad biológica del suelo que deben evaluarse en estudios de mediano y largo plazo.

El SSPP presentó condiciones fisicoquímicas superiores, con mayor humedad volumétrica (VWC%) (48.04 ± 3.92 % *vs* 36.99 ± 7.94 %, p = 0.0047) y conductividad eléctrica (CE) (0.363 ± 0.064 *vs* 0.273 ± 0.086 dS·m^{-1}, p = 0.0371), evidenciando el papel determinante de la cobertura arbórea en la regulación de las propiedades edáficas. En ambos sistemas los valores de CE se mantuvieron por debajo del umbral de salinidad (2.0 dS·m^{-1}).

Los contenidos de materia orgánica (MO) no mostraron diferencias significativas entre sistemas (2.15 ± 0.46 *vs* 2.12 ± 0.31 g·100 g^{-1}, p = 0.930), sugiriendo un equilibrio en los procesos de ciclaje de nutrientes en

its Master's Program in Agricultural Sciences for their academic guidance during the course of this work.

End of English version

References / Referencias

Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. En CAB International eBooks. http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA10348441

Anitha, K. V. (2020). Soil macro fauna: a retrospection with reference to soil formation and soil health. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9*, 592-594.

Cabrera-Dávila, G., Sánchez-Rendón, J. A., & Ponce de León-Lima, D. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana, 221*: 1-21.

Delgado-Vargas, I. A., & Benavides-Franco, N. (2024). Soil organic carbon storage in different agroforestry systems associated with coffee in Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana, 36*, 59765. https://doi.org/10.15517/am.2024.59765

Holdridge, L. R. (2000). *Ecología basada en zonas de vida* (2a reimp.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). https://hdl.handle.net/11324/20468

International Coffee Organization [ICO]. (2024). Coffee market report – December 2024. International Coffee Organization. https://www.ico.org

Lavallee, J. M., Soong, J. L., & Cotrufo, M. F. (2020). Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology, 26*(1), 261–273. https://doi.org/10.1111/gcb.14859

Mamabolo, E., Pryke, J. S., & Gaigher, R. (2024). Soil macrofauna are important bioindicators of soil quality in agroecosystems under different management. *Ecological Indicators, 167*, 112723. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112723

Matos, P. S., Pinto, L. A. S. R., Lima, S. S., Alves, T. C., Cerri, E. P., Pereira, M. G., & Zonta, E. (2023). Soil organic carbon fractions in agroforestry system in Brazil: Seasonality and short-term dynamic assessment. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, 47*(spe), e0220095. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220095

Meneses Estrada, E., & Reina López, A. 2015. *Cuantificación de macrofauna del suelo en un sistema silvopastoril comparado con un sistema convencional en una zona de bosque seco tropical (bs-T)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Nariño]. Colombia. https://sired.udenar.edu.co/4360/1/91522.pdf

Montoya-Rendón, J. C., Archila-Villalobos, C. F., & Rojas-Ledesma, F. A. (2023). *Mirada a los aspectos económicos, financieros, sociales y ambientales del cultivo del café en Colombia* - 2022. Documentos de Trabajo ECACEN, 1, 144-161. https://doi.org/10.22490/ECACEN.6938

Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano [PECTIA]. (2016). *Cadena agroalimentaria del Café*. 46p. Disponible en: http://www.siembra.gov.co/siembra/main.aspx. (Consultado marzo de 2018).

Puerta, G. I., González, F. O., Correa, A., Álvarez, I. E., Ardila, J. A., Girón, O. S., ... & Montoya, D. (2016). Diagnóstico de la calidad del café según altitud suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Revista Cenicafé 67*(2): 15-51. https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/727

Quiroz, A., Joell, Y., Morraz, P., & de los Angeles, M. (2017). *Comparación de los diseños, manejos y biodiversidad de la macrofauna edáfica en dos agroecosistemas con granos básicos*, Diriamba, Carazo, Nicaragua 2016 [Doctoral dissertation, Universidad nacional Agraria]. https://repositorio.una.edu.ni/3678/

Quiroz-Medina, C. R., Castellón, J. D., Cea-Navas, N. E., Ortiz, M. S., & Zuniga-Gonzalez, 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*(2), 572–582. https://doi.org/10.5377/nexo.v34i02.11542

el corto plazo. No obstante, la ausencia de análisis de calidad de MO representa una limitación del estudio, por lo que se recomienda incorporar análisis de fracciones de carbono orgánico en investigaciones futuras para comprender con mayor precisión la dinámica de ambos sistemas.

Los resultados sugieren que en el establecimiento de café (*Coffea canephora*) (SCC) en zonas no tradicionales del departamento de Córdoba no genera impactos negativos inmediatos sobre la abundancia de macrofauna ni sobre los contenidos de MO, lo que constituye un indicador preliminar favorable para la viabilidad agroecológica de este cultivo en la región. Sin embargo, las diferencias observadas en riqueza taxonómica respecto al SSPP establecido indican que su recomendación definitiva debe estar condicionada a evaluaciones de mediano y largo plazo que permitan determinar la trayectoria de la biodiversidad edáfica y la calidad del suelo bajo este sistema productivo.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por facilitar las instalaciones y recursos del Centro de Investigación Turipaná para el desarrollo de esta investigación, y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por el apoyo institucional brindado. De igual manera, se agradece a la Universidad de Córdoba y a su Programa de Maestría en Ciencias Agronómicas por el acompañamiento académico durante el desarrollo de este trabajo.

Fin de la versión en español

Rojas, G. D. V., Pinto, D. J. M., & Mosquera, J. M. B. (2024). *Reflexión sobre los sistemas de producción de café y sus implicaciones para la conservación*. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Editorial UNIATÓNOMA. pp. 105-113.

Sociedad Entomológica Aragonesa [SEA]. (2017). http://www.sea-entomologia.org

Sofo, A., Mininni, A. N., & Ricciuti, P. (2020). Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy, 10*(4), 456.

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Suárez, L. R., Pinto, S. P. C., & Salazar, J. C. S. (2019). Soil macrofauna and edaphic properties in coffee production systems in Southern Colombia. *Floresta e Ambiente, 26*(3), e20180334.

Triplehorn, C. A., Johnson, N. F., & Borror, D. J. (2005). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. Colombia: Thompson Brooks/Cole. 864 p.

Velmourougane, K. (2016). Impact of organic and conventional systems of coffee farming on soil properties and culturable microbial diversity. *Scientifica, (1)*, 3604026. https://doi.org/10.1155/2016/3604026