

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2026.01.006>

Sección: Ciencia agrícola

Artículo científico

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 (<https://orcid.org/0000-0002-1405-1066>)

Wilson Anchico-Joja² (<https://orcid.org/0000-0002-1993-1644>)

Judith Del Carmen Martínez Atencia³ (<http://orcid.org/0000-0003-0492-2486>)

Eliecer Miguel Cabrales Herrera⁴ (<https://orcid.org/0000-0002-6564-1664>)

José Luis Rodríguez Vitola³ (<https://orcid.org/0000-0001-5095-1232>)

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

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

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

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

*Autor de correspondencia: jfgarrido@agrosavia.co

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 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.

Recibido: 27 de enero, 2026

Aceptado: 1 de junio, 2026

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 promisoría para el establecimiento de este cultivo, debido a sus condiciones agroclimáticas y al potencial de diversificación productiva del sector cafetero.

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 río 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 corresponden a un vertic endoaquepts

(Soil Survey Staff, 2014), perteneciente a la serie La Pozona, con predominio 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 m². 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 cm² 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:

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

Donde:

I = biodiversidad

s = número de taxones presentes

$\ln$ = denota el logaritmo neperiano de un número

N = abundancia

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, $p > 0.05$).

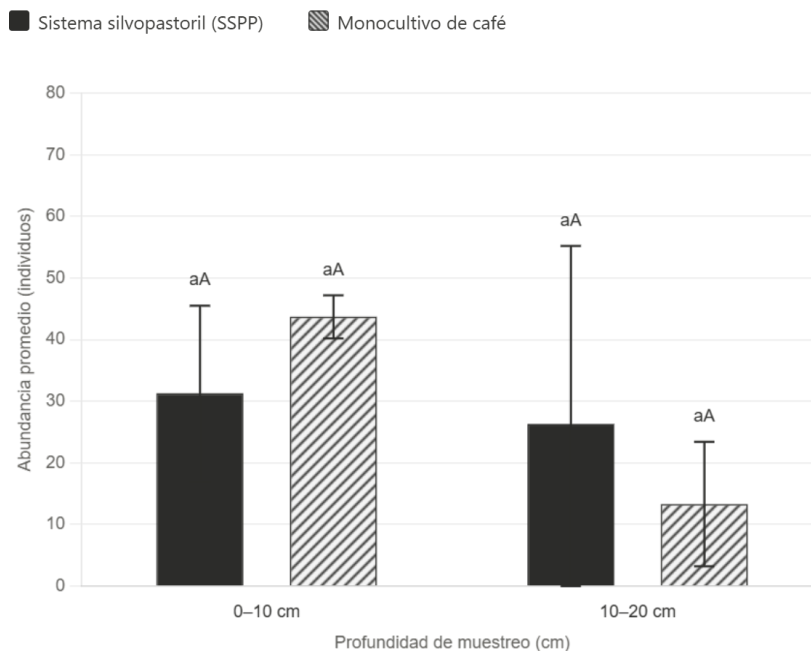


Figura 1. Abundancia total en los sistemas evaluados.

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, $p > 0,05$).

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

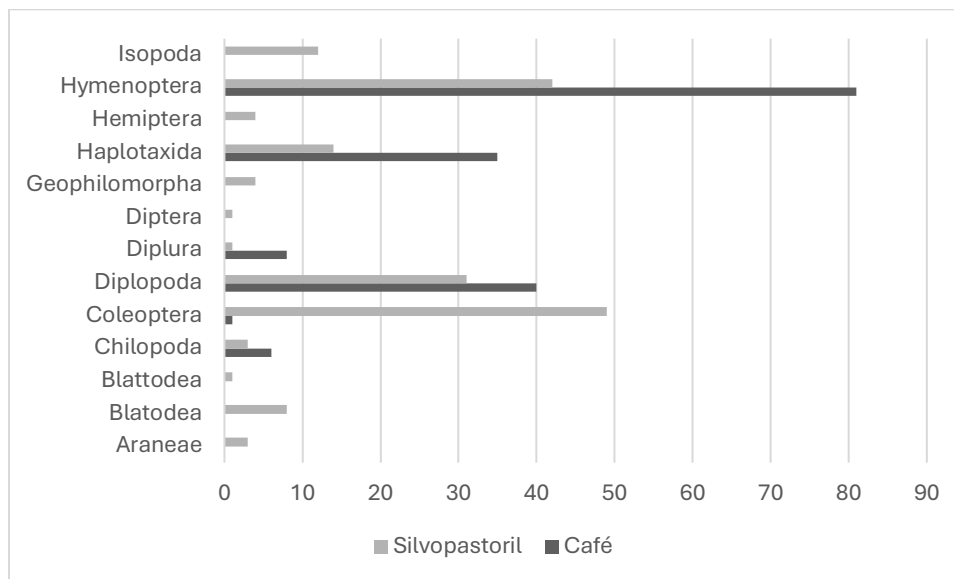


Figura 2. Composición taxonómica de la macrofauna edáfica por orden en el monocultivo de café (*Coffea canephora*) y el sistema silvopastoril en Córdoba, Colombia.

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 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 $\times$ profundidad ($p > 0.05$), lo que indica que la mayor riqueza en SSPP se mantiene de manera consistente a lo largo del perfil evaluado.

Cuadro 1. Índice de diversidad de Margalef para los sistemas y profundidades evaluadas

Profundidad	Silvopastoril (SSPP)	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

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 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).

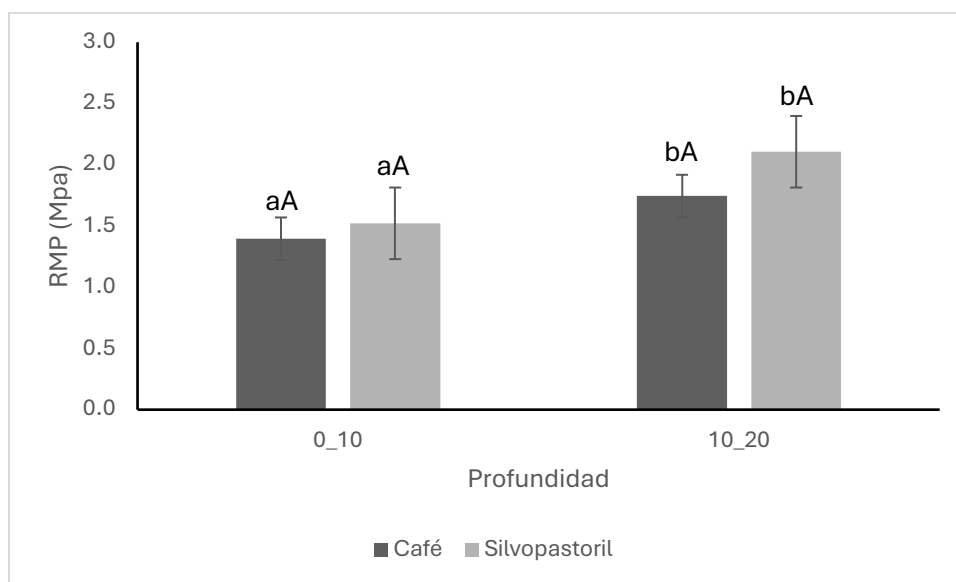


Figura 3. Resistencia mecánica a la penetración en los sistemas evaluados.

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 ($p > 0.05$).

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 (Sofó 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·m⁻¹) que en SCC (0.273 ± 0.086 dS·m⁻¹) ($p = 0.0371$) (**Cuadro 2**). En ambos sistemas los valores de CE se encuentran por debajo de 2,0 dS·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.

Cuadro 2. Conductividad Eléctrica (CE) y Humedad del suelo (VWC%)

	Silvopastoril	Café
Variable	(SSPP)	(SCC)
Humedad VWC%	$48,04 \pm 3,92$ a	$36,99 \pm 7,94$ b
CE (dS/m)	$0,363 \pm 0,064$ a	$0,273 \pm 0,086$ b

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 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 ($2.15 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) respecto a SSPP ($2.12 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), 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 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).

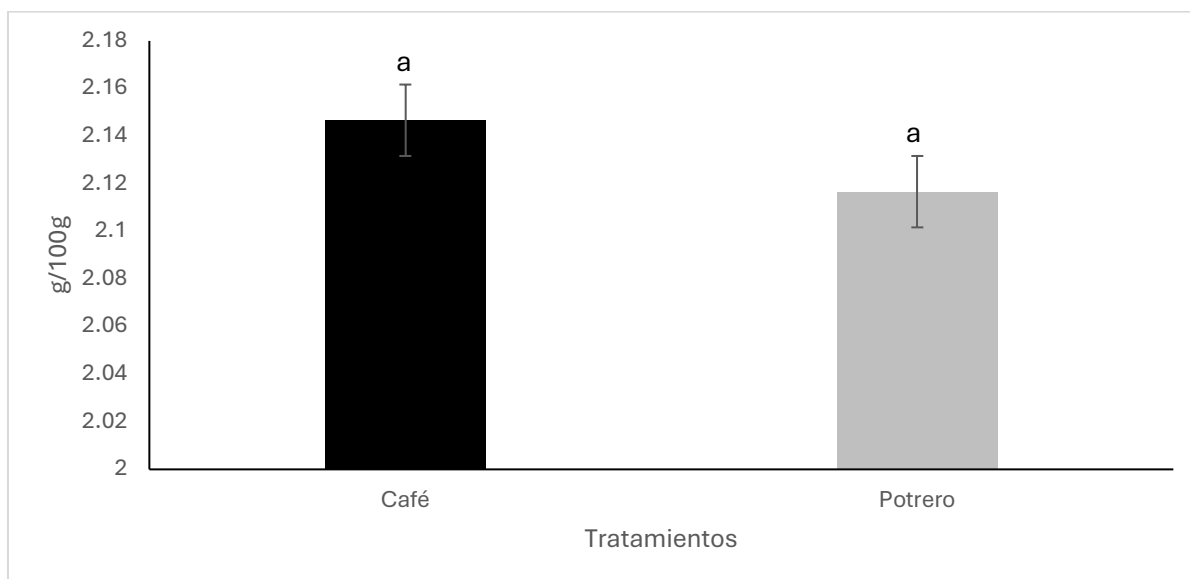


Figura 4. Contenido de materia orgánica en sistemas evaluados. Barras de error = desviación estándar ($n=3$). Letras minúsculas indican grupos de comparación de medias (prueba de Tukey, $p > 0,05$). Misma letra = sin diferencia significativa entre sistemas.

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 (Lavalley 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%) ($48.04 \pm 3.92 \%$ vs $36.99 \pm 7.94 \%$, $p = 0,0047$) y conductividad eléctrica (CE) (0.363 ± 0.064 vs $0.273 \pm 0.086 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $p = 0,0371$), 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 ($2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

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

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/10.36783/18069657rbs20220095>
- 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>
- 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>