



Artículo original / Original article

## **Artrópodos del suelo en sistemas agroforestales del distrito de Inambari en Madre de Dios**

### **Soil arthropods in agroforestry systems of the Inambari district in Madre de Dios**

Joel Peña-Valdeiglesias <sup>1\*</sup>; Rembrandt Canahuire-Robles <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

Recibido: 10/04/2022

Aceptado: 26/06/2022

Publicado: 25/07/2022

\*Autor de correspondencia: [jpena@unamad.edu.pe](mailto:jpena@unamad.edu.pe)

**Resumen:** En el presente estudio se evaluó la población de macroartrópodos en 20 parcelas con sistemas agroforestales de diferentes edades, los cuales fueron clasificadas en tres grupos por edad y por tipo de sistema agroforestal. En cada parcela se recogieron los macroartrópodos del suelo, de seis monolitos de suelo que tuvieron las siguientes dimensiones: 25 cm × 25 cm × 30 cm, preservándose los individuos en alcohol al 95%, para posteriormente identificarlas y reportarlas en cantidad de individuos/m<sup>2</sup>. Se colectaron 3046 individuos, encontrándose que las órdenes más importantes fueron: Haplotaxida, Coleóptera, Hymenóptera, Dictyoptera e Isóptera con más de 100 individuos/m<sup>2</sup>. Las lombrices de tierra fueron las especies más dominantes en los sistemas agroforestales 1 y 3, mientras que en el sistema agroforestal 3 dominaron los Isópteros. En los sistemas agroforestales más antiguos dominaban a los Isópteros, mientras que en los sistemas más jóvenes a los Haplotaxidos.

**Palabras clave:** macroartrópodos; monolito de suelo; sistema agroforestal

**Abstract:** In the present study, the population of macro arthropods was evaluated in 20 plots with agroforestry systems of different ages, which were classified into three groups by age and by type of agroforestry system. In each plot, soil macro-arthropods were collected from six soil monoliths that had the following dimensions: 25 cm × 25 cm × 30 cm, preserving the individuals in 95% alcohol, to later identify them and report them in number of individuals/ m<sup>2</sup> 3046 individuals were collected, finding that the most important orders were: Haplotaxida, Coleoptera, Hymenoptera, Dictyoptera and Isoptera with more than 100 individuals/m<sup>2</sup>. Earthworms were the most dominant species in agroforestry systems 1 and 3, while Isoptera dominated in agroforestry system 3. In the oldest agroforestry systems, the Isoptera dominated while in the youngest systems the Haplotaxids.

**Keywords:** macroarthropods, agroforestry system, soil monolith

## 1. Introducción

El proceso de deforestación de la Amazonía sigue avanzando en forma acelerada propiciada principalmente por el cambio de cobertura del suelo ya sea para la actividad agrícola, ganadera, minera y otras que están causando la degradación de los suelos, y la pérdida de su diversidad de organismos vivos que habitan en él (Le Tourneau, 2004; de Barros Ferraz et al., 2005).

Muchos estudios demuestran que la población de artrópodos del suelo se ha visto afectada por la intervención antrópica en estas áreas deforestadas (Lavelle, 2002; Mathieu et al., 2004; Rossi et al., 2010), produciéndose también así la pérdida de los servicios ecosistémicos, tales como formación del suelo, mejoramiento de la capacidad de retención del agua, control de la erosión, reciclaje de nutrientes, ciclo del carbono, y otros que brindan estos organismos vivos del suelo (Brussaard et al., 2007; Lavelle, 2002).

Según Villanueva-López et al. (2019) encontraron en 4 Sistemas Agroforestales (SAFs) tradicionales, en la región tropical húmeda de México la misma que presenta alta riqueza de árboles maderables y frutos en asociación con cultivos tradicionales, una alta población y diversidad de macroartrópodos, la misma que está relacionada con una alta diversidad de especies forestales, y que aportan una cantidad elevada de biomasa a través del follaje y la hojarasca en dichos sistemas. Las órdenes más abundantes que encontraron fueron Hymenóptera y Coleóptera, siendo la menos abundante la orden Demaptera.

Por otro lado, en Sistemas Agroforestales con caucho de la Amazonía colombiana, Suárez Salazar et al. (2015) encontraron que los macro artrópodos más abundantes fueron las lombrices y las hormigas, y las menos abundantes fueron los taxones Blattodea, Dermaptera, Homóptera, Orthoptera y Raphidioptera.

En los Sistemas Agroforestales con cacao en Camerún, los agricultores identificaron a las lombrices hormigas, termitas, milpies y ciempiés como las especies más abundantes y dominantes en estos agroecosistemas, siendo las menos dominantes los escorpiones, escarabajos y babosas (Tsufac Azembouh et al., 2021). Pseudoscorpionida es un orden de carnívoros predadores y habitan generalmente en ambientes estables, aunque estos individuos todavía no se han reportado como indicadores de calidad del suelo (Menta & Remelli, 2020).

En sistemas agroforestales con café asociado con pino y otras especies forestales, Prayogo et al. (2019) encontraron 554 individuos de las siguientes taxas: Haplotoxida, Coleóptera, Hymenóptera, Hemíptera, Orthoptera, Isóptera, Díptera, Collembola, Acari, Aranneida, y Scolopendromorpha, los mismos que corresponden a 9 tipos de SAFs.

En Madre de Dios desde hace más de 15 años existen muy pocas áreas cultivadas con SAFs en comparación con los agroecosistemas con monocultivo (pastos, papaya, arroz, maíz, y otros), estos SAFs han sido promovidos en sus inicios por instituciones gubernamentales y no gubernamentales a través de proyectos de desarrollo con resultados iniciales favorables, y donde Peña et al. (2018) encontraron que estos SAFs son sustentables cuando tienen más tiempo de establecidos y cuando hay una mayor diversidad de especies dentro del sistema.

Para Gómez Cardozo et al. (2015) los SAFs pueden ser utilizados para restaurar ecosistemas (por la diversidad que alberga dentro de sí) y que pueden ser mucho más sostenibles en el tiempo por su capacidad de resiliencia y estabilidad que le da al agroecosistema (Nair et al., 2008).

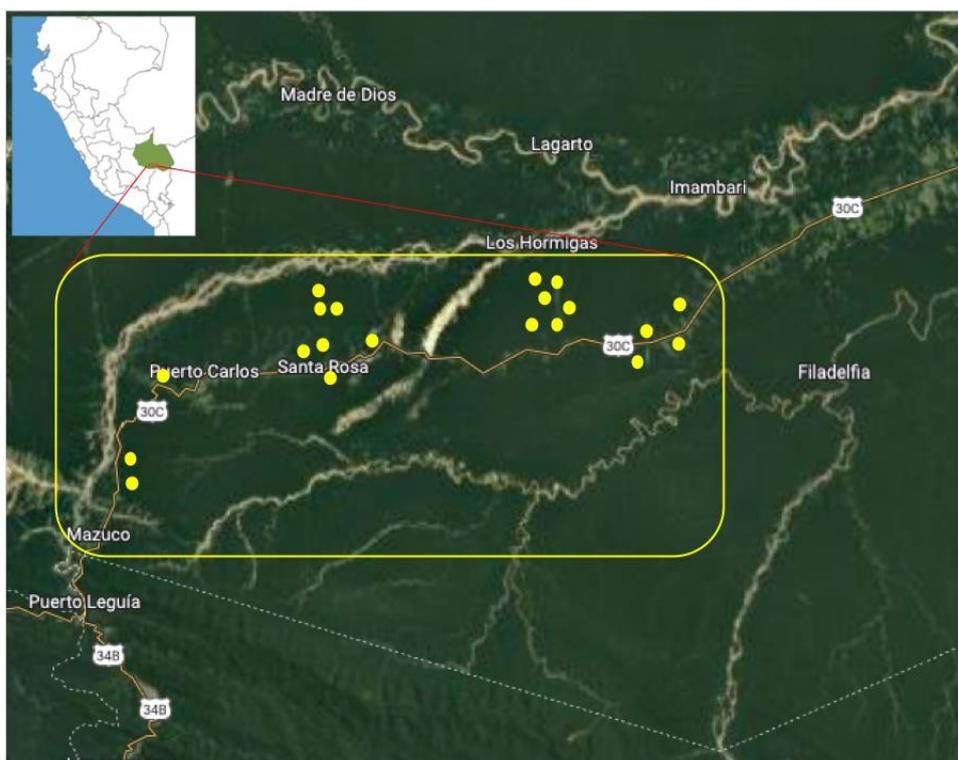
El objetivo del presente estudio fue analizar la diversidad de artrópodos por tipo y edad del sistema agroforestal, y nos planteamos las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es la población de artrópodos del suelo en plantaciones con sistemas agroforestales? ¿Cuál es la relación existente entre el tipo de sistema agroforestal y la población de artrópodos del suelo?

## 2. Materiales y métodos

**Área de estudio.** El área de estudio está circunscrita en el distrito de Inambari del departamento de Madre de Dios, ubicada en la Amazonía sur peruana, y se caracteriza por tener un clima tropical estacionalmente seco (Figura 1), donde se identificaron 20 parcelas con sistemas agroforestales con más de cuatro años de establecidos. En cada lugar se registraron datos de los agricultores, cultivos principales, y de las especies forestales asociadas a los mismos, se evaluó la población de macroartrópodos del suelo, y asimismo se registró información correspondiente a la edad de cada sistema agroforestal.

Según la combinación de especies cultivadas y de especies forestales, las parcelas evaluadas se agruparon de la siguiente forma: SAF 1: combinación del cultivo de cacao con más de dos especies forestales amazónicas; SAF 2: combinación del cultivo de copoazú con más de dos especies forestales amazónicas; y SAF 3: combinación del cultivo de cacao con otras dos especies cultivadas.

De acuerdo con la edad de los sistemas agroforestales, también los sistemas se agruparon de la siguiente manera: (Edad 1: hasta 5 años de establecido); (Edad 2: de 6-10 años) y (Edad 3: más de 10 años).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en el distrito de Inambari. Los puntos de amarillo indican la ubicación de las parcelas agroforestales

**Muestreo de los macroartrópodos.** Para este caso se utilizó el método desarrollado por la TSBF (Tropical Soil Biology And Fertility) planteado por Anderson & Ingram (1993) para lo cual se sacaron muestras de los macroinvertebrados del suelo de monolitos con 30 cm de profundidad y con 25 cm de largo y ancho (30 cm × 25 cm × 25 cm). En cada parcela se extrajeron seis monolitos de suelo los cuales estuvieron distanciados a 5 m entre sí, por lo que a nivel de toda el área de estudio se evaluaron 120 monolitos. Todos los macroartrópodos visibles encontrados en el suelo se colectaron en botellas que contenían alcohol al 95% para su preservación, posteriormente las muestras fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, donde se procedió a la identificación de los individuos a través del uso de guía y

manuales con claves de identificación, en este proceso la identificación de los taxos se realizó a nivel de órdenes en las siguientes unidades taxonómicas: Formicidae, Isóptera, Blattaria, Díptera, Isópoda, Dermaptera, Hemíptera, Homóptera, Coleóptera (estadios larvales y adultos), Orthoptera, Lepidóptera (estadios larvales), Díptera (estadios larvales), Araneae, Opiliones, Chilopoda, Diplópoda, Gastropoda, y Oligochaeta.

**Análisis estadístico.** La información del número individuos hallados en cada parcela fue transformada a densidad poblacional en número de individuos por metro cuadrado (ind.m<sup>2</sup>). En total se encontraron 19 unidades taxonómicas. Con la finalidad de comparar la población de individuos, se efectuaron pruebas no paramétricas tal como la prueba de (Kruskal & Wallis, 1952; Schober & Vetter, 2020), teniendo en cuenta que los datos no tienen distribución normal de acuerdo con la prueba de Siegel & Castellan (1988).

Se efectuó el análisis de componentes principales (ACP) con la finalidad de analizar la población de individuos encontrados en los sistemas agroforestales, y con la finalidad de reducir la dominancia taxonómica, los datos originales se transformaron ( $\sqrt{x+1}$ ). El análisis se realizó con el software PAST.

El resto de los análisis se efectuaron con el software R (Ihaka & Gentleman, 1996); R (Equipo central R, 2018) y se utilizaron paquetes estadísticos tales como agricolae (de Mendiburu, 2021), vegan y ggplot2 (Wickham, 2009) para análisis multivariados.

### 3. Resultados y discusión

En la zona de estudio se encontró 19 órdenes de artrópodos en los suelos de los sistemas agroforestales, siendo las ordenes reportadas las siguientes: Archaeagastropoda, Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Dermaptera, Dictyoptera, Diplopoda, Diptera, Haplotaxida, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Lepidoptera, Opiliones, Orthoptera, Phasmida, Psuedoscorpionida y Scorpiones. Esta cantidad es superior a los macros artrópodos reportados por estudios previos (N'Woueni & Gaoue, 2022; Prayogo et al., 2019; Marichal et al., 2014). Por ejemplo, Prayogo et al. (2019) para sistemas agroforestales con café, reportaron 11 unidades taxonómicas, y a los reportados por Marichal et al. (2014) quienes reportaron hasta 18 unidades taxonómicas para diferentes tipos de usos de suelo en la Amazonia colombiana (Caqueta) y en la Amazonia brasilera (Pará).

En las parcelas a4 y a12 con cultivos de (piña, achihua, castaña, tornillo) y (cacao, naranja, guaba) respectivamente, se encontraron 11 órdenes diferentes, donde se reporta más diversidad de artrópodos, mientras que en las parcelas a9 y a15 solo se encontraron 4 órdenes diferentes (Tabla 1).

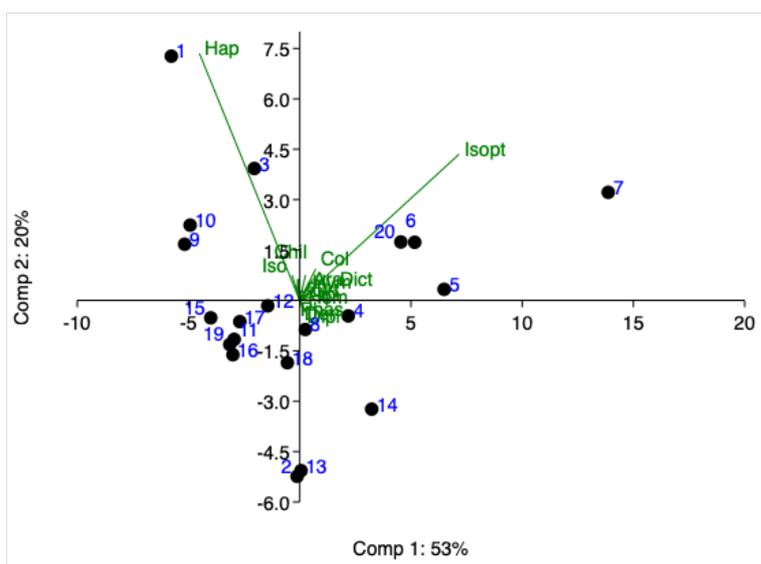
**Tabla 1.** Población total de macroartrópodos (individuos/m<sup>2</sup>) encontrados en las parcelas agroforestales evaluadas

Orden	Parcela																				Total	
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20		
Archaeagastropoda																	3				3	
Araneae	13	5	5	5	3	11	11	8		5	5	3	8	5				5	3	3	98	
Chilopoda	3					13	5	3		5	3	3					5		3	5	54	
Coleoptera	16	11	11	35	5	16	35	8	21	24	13	16	19	16	5	5	5	5		8	274	
Dermaptera							3	3					5								14	
Dictyoptera	8	8	8	27	19	13	21	19				8		11				8	13	5	174	
Diplopoda					13		3					3	3				27			5	3	57
Diptera				5																	5	
Haplotaxida	253	5	125	29	16	29	5	37	117	125	51	56	5	5	75	53	59	29	59	35	1168	
Hemiptera			3	29		5	3	3		5		3		5		3	5				64	

Hymenoptera	29	27	88	11	21	67	8	13		8	21	16	45	11		16		32		8	424	
Isopoda	8								3													14
Isoptera	5		13	21	96	72	293	11				5		24				5		83	631	
Lepidoptera			5						5		3									3	16	
Opiliones				5			5														10	
Orthoptera			3	3		3	5					3	3							3	23	
Phasmida		3				3															9	
Pseudoscorpionidae												5									5	
Scorpiones				3																	3	
Total, de individuos	335	59	261	173	173	232	397	105	146	172	96	121	91	77	86	110	83	90	83	156	3046	
Total, de ordenes	8	6	9	11	7	10	12	9	4	6	6	11	8	7	4	7	7	8	5	10	19	

Las órdenes más abundantes fueron Haplotoxida e Isoptera, La mayor cantidad de Haplotoxidos se encontraron en las parcelas a1 (con 253 individuos), a3 (125 individuos), a10 (125 individuos) y a9 (117 individuos), mientras que la mayor cantidad de Isópteros se encontraron en las parcelas a20 (83 individuos), a6 (72 individuos), a5 (96 individuos) y a7 (293 individuos) (Tabla 1 y Figura 2).

Las órdenes más frecuentes, que estuvieron en la mayoría de SAFs, fueron en orden de importancia: Haplotoxida, Coleoptera, Hymenoptera, Isoptera y Aranae, lo cual coincide con estudios previos (Tauro et al., 2021). Las órdenes menos frecuentes y raras encontradas fueron: Scorpiones y Pseudoscorpionida, que según Menta & Remelli (2020), son especies de ambientes y ecosistemas mucho más estables, ya que son carnívoros, asimismo Villanueva-López et al. (2019) encontraron que las órdenes más abundantes en SAFs de México fueron Hymenóptera y Coleoptera, siendo la menos abundante la orden Demaptera, mientras que en la Amazonia colombiana, Suárez Salazar et al. (2015) encontraron que los macro artrópodos más abundantes fueron las lombrices y las hormigas, y las menos abundantes fueron los taxones Blattodea, Dermaptera, Homoptera, Orthoptera y Raphidioptera en SAFs con caucho. Por otro lado, (Tsuface Azembouh et al., 2021) reportan que para los agricultores de SAFs de cacao en Camerún, las lombrices, hormigas, termitas, milpies y ciempiés son los más dominantes de estos agroecosistemas.



**Figura 2.** Gráfica del análisis de componentes principales de la población de artrópodos encontrados en las parcelas de estudio. (Con los dos primeros componentes representados en el gráfico, se consigue explicar el 73% de la varianza observada)

De acuerdo a la prueba no paramétrica de Kruskal & Wallis (1952), en toda la zona de estudio los individuos del orden Haplotaxida fueron los más abundantes estadísticamente, seguido de los órdenes Coleoptera e Hymenoptera (Tabla 2), y de acuerdo al tipo de SAFs, no se encontró diferencia significativa en la población de macro artrópodos a nivel de cada orden taxonómico.

**Tabla 2.** Prueba de Kruskal-Wallis para la población total de macroartrópodos en toda la zona de estudio

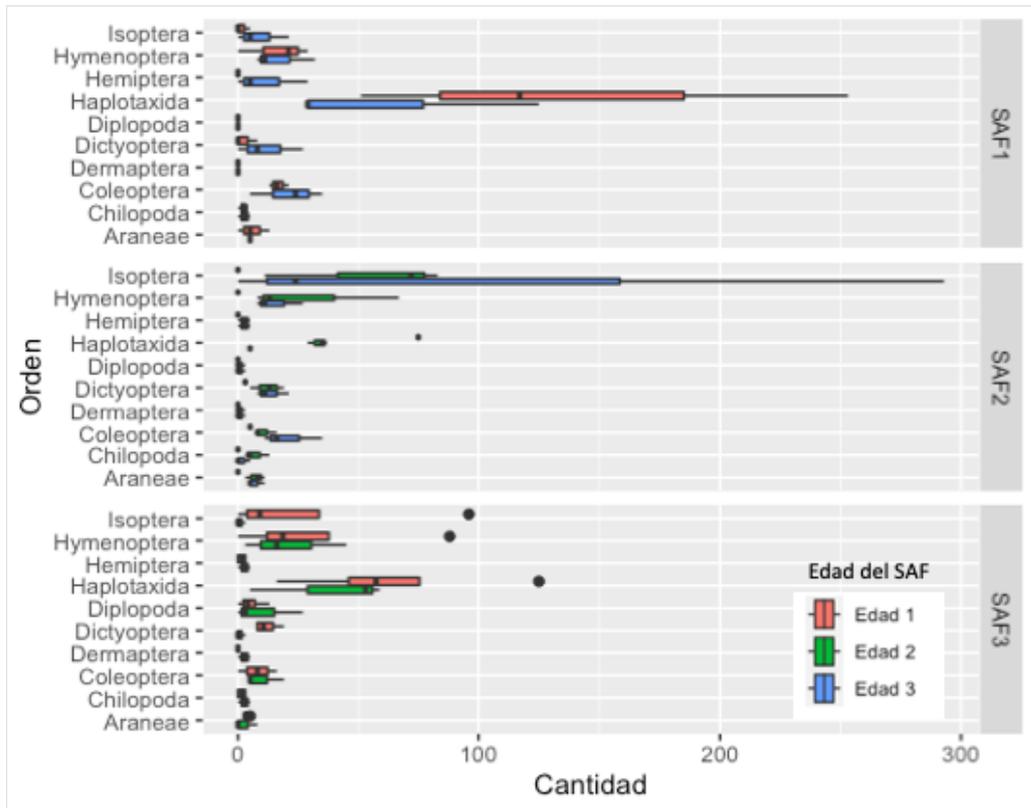
Órdenes	Cantidad	Grupos
Haplotaxida	170,4	a
Coleoptera	138,5	b
Hymenoptera	137,675	b
Dictyoptera	110,35	c
Isoptera	104,75	c
Araneae	96,75	cd
Chilopoda	72,075	de
Hemiptera	68,65	e
Diplopoda	60,425	e
Dermaptera	45,425	e
Chisq= 89,4648, p < 0,001		

En los suelos de SAFs con cacao (SAF1) asociado con especies forestales amazónicas tales como castaña (*Bertholletia excelsa*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*), cedro (*Cedrela odorata*), lupuna (*Ceiba pentandra*) y otros se encontró una mayor población promedio de lombrices de tierra (del orden Haplotaxida), seguido estadios larvales de escarabajos (orden Coleoptera) y de hormigas (del orden Hymenoptera).

Reporte casi coincidente con los resultados presentados por Suárez Salazar et al. (2015) y Tsufac Azembouh et al. (2021) para SAFs en Colombia y Camerún respectivamente, quienes también hallaron que las lombrices fueron las más abundantes.

En los suelos de SAFs con copoazu (SAF2) (*Theobroma grandiflorum*) asociado con especies forestales amazónicas como castaña, capirona, cedro, achihua y otros se encontró una mayor población promedio de termitas (del orden Isóptera) seguidas de hormigas de la familia Formicidae (del orden Hymenoptera) que principalmente son fitófagos y depredadores, reporte que es similar a lo encontrado por Villanueva-López et al. (2019) para SAFs de México.

También se encontró una buena población de lombrices (del orden Haplotaxida) seguido por estadios larvales de escarabajos (orden Coleóptera). En los suelos de SAFs con cacao asociado con especies de guaba (*Inga edulis*) y otras especies cultivadas como cítricos (SAF3) se encontró una mayor población promedio de lombrices de tierra (del orden Haplotaxida) seguido termitas (del orden Isoptera), de hormigas de la familia formicidae (del orden Hymenoptera) y de milpies (del orden Diplopoda) (Figura 3).



**Figura 3.** Cantidad de artrópodos del suelo de acuerdo al tipo de sistema agroforestal y de función de la edad del mismo

Leyenda:

SAF1 (cacao asociado con especies forestales).

SAF2 (copoazú asociado con especies forestales).

SAF3 (cacao asociado con guaba y frutales).

En los SAFs con edades entre 1 y 5 años (edad 1) se encontraron una buena población de artrópodos pertenecientes al orden Haplotaaxida, siendo más abundantes en los SAF1 y SAF3. En los SAFs con edades entre 6 y 10 años (edad 2), los artrópodos más dominantes fueron los correspondientes al orden Isoptera, Hymenoptera y Haplotaaxida respectivamente. Mientras que en los SAFs con edades de más de 10 años (edad 3), los órdenes más dominantes fueron Isoptera, Haplotaaxida, Coleoptera y Hemiptera respectivamente.

La dominancia de termitas (isóptera) es importante en la formación estructural del suelo; son responsables de la formación de macro y microagregados, del reciclaje de nutrientes y de la mejora de la porosidad (Zulu et al., 2022).

## 4. Conclusiones

Se encontró 19 órdenes de artrópodos, cantidad que es superior a otros ecosistemas con sistemas agroforestales tropicales, siendo las más abundantes Haplotaxida e Isoptera. La población de lombrices del orden Haplotaxida fue más abundante en los sistemas agroforestales asociados con cacao (*Theobroma cacao*) y con más de dos especies forestales amazónicas, en los sistemas agroforestales asociados con copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y con más de dos especies forestales amazónicas, las termitas y las hormigas de los órdenes Isóptera e Hymenoptera fueron las más abundantes respectivamente. En los sistemas agroforestales más jóvenes se encontró una mayor dominancia de lombrices (orden Haplotaxida), mientras en los sistemas agroforestales más antiguos se encontró una mayor dominancia de termitas (orden Isóptera).

## Financiamiento

El presente estudio fue financiado por la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y, a través del Vicerrectorado de Investigación VRI-UNAMAD, mediante resolución N° 155-2019-UNAMAD-VRI.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no incurren en conflicto de intereses.

## Contribución de autores

P-V, J: Conceptualización, análisis formal, administración del proyecto, escritura (preparación del borrador final).

P-V, J y C-R, R.: Metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

## Referencias bibliográficas

- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods* (2nd ed.). Wallingford: CAB International.
- Brussaard, L., de Ruiter, P. C., & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>
- de Barros Ferraz, S. F., Vettorazzi, C. A., Theobald, D. M., & Ramos Ballester, M. V. (2005). Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. *Forest Ecology and Management*, 204(1), 69–85. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.073>
- de Mendiburu, F. (2021). *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. *Agricolae*. <https://rdrr.io/cran/agricolae/>
- Equipo central R. (2018). *R: Un lenguaje y entorno para la computación estadística*. R Fundación Para La Computación Estadística, Viena, Austria. <http://www.r-project.org>
- Gómez Cardozo, E., Mavisoy Muchavisoy, H., Rocha Silva, H., Corrêa Zelarayán, M. L., Fernandes Alves Leite, M., Rousseau, G. X., & Gehring, C. (2015). Species richness increases income in agroforestry systems of eastern Amazonia. *Agroforestry Systems*, 89(5), 901–916. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9823-9>
- Ihaka, R., & Gentleman, R. (1996). R: A Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3), 299. <https://doi.org/10.2307/1390807>

- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583. <https://doi.org/10.2307/2280779>
- Lavelle, P. (2002). Functional domains in soils. *Ecological Research*, 17(4), 441–450. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00509.x>
- Le Tourneau, F.-M. (2004). Jusqu'au bout de la forêt ? Causes et mécanismes de la déforestation en Amazonie brésilienne. *Mappemonde*, 75, 1–25. <https://shs.hal.science/halshs-00007050/document>
- Marichal, R., Grimaldi, M., Feijoo M., A., Oszwald, J., Praxedes, C., Ruiz Cobo, D. H., del Pilar Hurtado, M., Desjardins, T., Silva Junior, M. L. da, Silva Costa, L. G. da, Miranda, I. S., Delgado Oliveira, M. N., Brown, G. G., Tsélouiko, S., Martins, M. B., Decaëns, T., Velasquez, E., & Lavelle, P. (2014). Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Applied Soil Ecology*, 83, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.006>
- Mathieu, J., Rossi, J.-P., Grimaldi, M., Mora, P., Lavelle, P., & Rouland, C. (2004). A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. *Biology and Fertility of Soils*, 40(5), 300–305. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0777-8>
- Menta, C., & Remelli, S. (2020). Soil Health and Arthropods: From Complex System to Worthwhile Investigation. *Insects*, 11(1), 54. <https://doi.org/10.3390/insects11010054>
- N'Woueni, D. K., & Gaoue, O. G. (2022). Plant Diversity Increased Arthropod Diversity and Crop Yield in Traditional Agroforestry Systems but Has No Effect on Herbivory. *Sustainability*, 14(5), 2942. <https://doi.org/10.3390/su14052942>
- Nair, P. K. R., Gordon, A. M., & Mosquera-Losada, R. M. (2008). Agroforestry. In *Encyclopedia of Ecology* (pp. 101–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00038-0>
- Peña, J., Alegre, J., & Bardales, R. (2018). Efecto de la riqueza de las especies cultivadas en la sustentabilidad de los sistemas agroforestales en la amazonia sur del Perú. *Ecosistemas*, 27(3), 87–95. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1522#:~:text=>
- Prayogo, C., Sholehuddin, N., Putra, E. Z. H. S., & Rachmawati, R. (2019). Soil macrofauna diversity and structure under different management of pine-coffee agroforestry system. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 6(3), 1727–1736. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2019.063.1727>
- Rossi, J. P., Celini, L., Mora, P., Mathieu, J., Lapied, E., Nahmani, J., Ponge, J.-F., & Lavelle, P. (2010). Decreasing fallow duration in tropical slash-and-burn agriculture alters soil macroinvertebrate diversity: A case study in southern French Guiana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(1–2), 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.012>
- Schober, P., & Vetter, T. R. (2020). Nonparametric Statistical Methods in Medical Research. *Anesthesia & Analgesia*, 131(6), 1862–1863. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005101>
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Ilustrada.
- Suárez Salazar, J. C., Durán Bautista, E. H., & Rosas Patiño, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada a sistemas agroforestales en la Amazonia Colombiana. *Acta Agronómica*, 64(3), 214–220. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033>
- Tauro, T. P., Mtambanengwe, F., Mpepereki, S., & Mapfumo, P. (2021). Soil macrofauna response to integrated soil fertility management under maize monocropping in Zimbabwe. *Heliyon*, 7(12), e08567. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08567>

- Tsufac Azembouh, R., Awazi Nyong, P., erima Bernard, P. K. Y., & Enang Roger, K. (2021). Contribution of soil macro-fauna to soil fertility improvement in cocoa-based (*Theobroma cacao*) agroforestry systems in the Littoral Region of Cameroon: Examining cocoa farmers indigenous knowledge. *African Journal of Agricultural Research*, 17(4), 522-531. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15394>
- Villanueva-López, G., Lara-Pérez, L. A., Oros-Ortega, I., Ramírez-Barajas, P. J., Casanova-Lugo, F., Ramos-Reyes, R., & Aryal, D. R. (2019). Diversity of soil macro-arthropods correlates to the richness of plant species in traditional agroforestry systems in the humid tropics of Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 286, 106658. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106658>
- Wickham, H. (2009). ggplot2. In *Elegant Graphics for Data Analysis* (1st ed., p. 213). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>
- Zulu, S. G., Motsa, N. M., Sithole, N. J., Magwaza, L. S., & Ncama, K. (2022). Soil Macrofauna Abundance and Taxonomic Richness under Long-Term No-Till Conservation Agriculture in a Semi-Arid Environment of South Africa. *Agronomy*, 12(3), 722. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030722>