

Tesis_Formato_RFCA (2).pdf

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:520499996

Fecha de entrega

30 oct 2025, 10:26 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 nov 2025, 8:46 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis_Formato_RFCA (2).pdf

Tamaño del archivo

620.8 KB

13 páginas

5136 palabras

29.047 caracteres

11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	raccefyn.co	<1%
2	Internet	hdl.handle.net	<1%
3	Internet	pesquisa.bvsalud.org	<1%
4	Trabajos entregados	Universidad Científica del Sur on 2019-12-23	<1%
5	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Colombia on 2025-05-18	<1%
6	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	<1%
7	Internet	backup.chapingo-cori.mx	<1%
8	Trabajos entregados	Universidad Estatal Amazonica- on 2025-08-22	<1%
9	Internet	www.coursehero.com	<1%
10	Publicación	Cyndi dos Santos Ferreira, Sandra Santana de Lima, Maura Santos Reis de Andrad...	<1%
11	Internet	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov	<1%

12	Internet	repositorio.upeu.edu.pe:8080	<1%
13	Internet	www.repositorio.uc.cl	<1%
14	Internet	downloads.hindawi.com	<1%
15	Internet	patents.google.com	<1%
16	Publicación	C. A. Zúniga-Gonzalez, A. J. Caballero-Hernández. "Diversity of functional edaphic ...	<1%
17	Internet	go.gale.com	<1%
18	Internet	recyt.fecyt.es	<1%
19	Internet	www.researchgate.net	<1%
20	Internet	www.scielo.org.mx	<1%
21	Internet	1library.co	<1%
22	Trabajos entregados	Escuela Politecnica Nacional on 2025-07-31	<1%
23	Publicación	Nelly Alejandra Jerez-Ramírez, Stefan Louis Arriaga-Weiss, Gorgonio Ruiz-Campos...	<1%
24	Internet	hispagua.cedex.es	<1%
25	Internet	worldwidescience.org	<1%

26	Internet	www.cambridge.org	<1%
27	Internet	www.produccioncientificaluz.org	<1%
28	Internet	www.sabiia.cnptia.embrapa.br	<1%
29	Trabajos entregados	Account Universidad Mariana on 2025-09-23	<1%
30	Publicación	ERM PERU S.A.. "EIA del Proyecto de Perforación de Pozos Exploratorios, Pozos de ...	<1%
31	Publicación	Jazmín Arleth Cosain-Díaz, José de Jesús Adolfo Tortolero-Langarica, Alma Paola R...	<1%
32	Publicación	José Enrique Campillo, María Ángeles Tormo, Jesús Gómez-Encinas, Carlos Campill...	<1%
33	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-10-07	<1%
34	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
35	Internet	app.trdizin.gov.tr	<1%
36	Internet	edepot.wur.nl	<1%
37	Internet	fiepbulletin.net	<1%
38	Internet	repositorio.chapingo.edu.mx	<1%
39	Trabajos entregados	uncedu on 2025-03-05	<1%

40	Internet	www.convenciontropicocuba.com	<1%
41	Internet	www.grafiati.com	<1%
42	Internet	www.medioambiente.gov.ar	<1%
43	Internet	www.slideshare.net	<1%
44	Internet	www.thefreelibrary.com	<1%

Soil Biological Variables in *Moringa oleifera* Agroforestry Systems and Secondary Forest

Variables biológicas del suelo en sistemas con *Moringa oleífera* y Bosque Secundario

Abstract

The objective of this study was to compare soil biological variables: such as soil fauna, microbial activity, and species diversity, under two land use types: an agroforestry system with *Moringa oleifera* and a secondary forest, in the San Martín region, Peru. The study evaluated how these systems influence soil quality and the associated ecosystem services.

The results showed significant differences between both systems. The secondary forest exhibited greater macrofauna diversity and higher microbial activity during the wet season, whereas the *M. oleifera* system displayed a higher dominance of certain taxa and greater microbial activity during the dry season. These patterns reflect the effect of agroforestry management on the structure and functionality of soil biological communities.

This study provides evidence of the influence of land use on soil biodiversity and ecosystem health, highlighting the importance of sustainable management practices to conserve and enhance ecosystem services in agroforestry systems.

Keywords

soil microbial activity, soil fauna, soil biodiversity, soil ecosystem services, secondary forest.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo comparar las variables biológicas del suelo, como la fauna edáfica, actividad microbiana y diversidad de especies en dos tipos de uso del suelo: un sistema agroforestal con *Moringa oleifera* y un bosque secundario, en la región San Martín, Perú. Se evaluó cómo estos sistemas influyen en la calidad del suelo y en los servicios ecosistémicos asociados.

Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre ambos sistemas. El bosque secundario presentó mayor diversidad de macroinvertebrados edáficos y una actividad microbiana más elevada durante la época húmeda, mientras que el sistema con *M. oleifera* mostró una mayor dominancia de ciertos taxones y una actividad microbiana superior en la época seca. Estos patrones reflejan el efecto del manejo agroforestal sobre la estructura y funcionalidad de las comunidades biológicas del suelo.

Este estudio aporta evidencia sobre la influencia del uso del suelo en la biodiversidad edáfica y la salud del ecosistema, resaltando la importancia de prácticas de manejo sostenible para conservar y potenciar los servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales.

Palabras clave

Actividad microbiana, fauna edáfica, biodiversidad edáfica, servicios ecosistémicos del suelo, bosque secundario.

Introducción

La biodiversidad global atraviesa un declive sin precedentes como consecuencia de múltiples presiones antropogénicas, entre ellas la pérdida y fragmentación del hábitat, los cambios en el uso del suelo y la introducción de especies invasoras. Estas amenazas afectan de manera desproporcionada a especies vulnerables, incrementando su riesgo de extinción y alterando profundamente la estructura y funcionalidad de las comunidades ecológicas (Singini & Baso, 2025). En este contexto, y bajo la influencia del cambio climático y las actividades humanas, la expansión forestal ha adquirido un rol cada vez más relevante en la configuración de los ecosistemas; no obstante, sus efectos sobre las comunidades microbianas del suelo aún permanecen poco comprendidos (Huo et al., 2023).

Estudios recientes evidencian que factores edáficos como el *pH* y la vegetación influyen directamente en la composición de bacterias y hongos, confirmando que la cobertura vegetal y las condiciones ambientales son determinantes en la dinámica de la biota edáfica (Lian et al., 2025). Así, se reconoce que el efecto de la vegetación sobre el funcionamiento de los suelos y los ecosistemas es complejo, y que para comprenderlo se requiere el uso de diversos indicadores ecológicos que permitan capturar las respuestas ambientales al cambio de uso del suelo y a las prácticas de manejo (Teixeira et al., 2020). Sin embargo, muchos proyectos de restauración priorizan objetivos como el secuestro de carbono o la provisión de servicios ecosistémicos, relegando la conservación de la biodiversidad como fin principal, lo que puede limitar su efectividad ecológica a largo plazo (Edwards & Cerullo, 2024).

En la búsqueda de estrategias integrales de restauración, especies arbóreas de rápido crecimiento como *Moringa oleifera* han cobrado relevancia por su alto potencial agroforestal. Esta planta, ampliamente adaptada a regiones tropicales y subtropicales, presenta una raíz pivotante profunda que le confiere tolerancia a la sequía y, además, muestra resistencia relativa a heladas ligeras, lo que la hace adecuada frente a condiciones climáticas variables (Moisa et al., 2023) (Mashamaite et al., 2021). Asimismo, se ha demostrado que las prácticas de manejo que favorecen la productividad y reducen la perturbación del suelo mejoran la agregación y el desarrollo estructural (Bronick & Lal, 2005). La macrofauna edáfica, compuesta por más de 40 órdenes y que representa cerca del 23 % de todas las especies descritas, cumple funciones esenciales como la formación del suelo, el ciclado de nutrientes y la regulación de plagas (Brown et al., 2024). Paralelamente, las comunidades microbianas edáficas desempeñan un rol fundamental en el mantenimiento de los ecosistemas, modulando la respuesta de los suelos a las perturbaciones naturales y antrópicas (Noguera Tabalera et al., 2017) (Hiura et al., 2024). En los paisajes neotropicales, los bosques secundarios se consideran componentes clave, pues la microbiota del suelo incide directamente en la fertilidad, el secuestro de carbono y la resiliencia ecológica (Saltonstall et al., 2025).

A nivel internacional, *M. oleifera* ha mostrado utilidad como bioindicador de salud edáfica. En Ecuador, se reportó que esta especie responde fisiológica y metabólicamente a condiciones de toxicidad y deficiencia nutricional del suelo, lo que justifica su comparación con sistemas naturales como el bosque secundario (Mihai et al., 2022). De igual manera, Mokgophi et al. (2020) evidenciaron que los residuos de *M. oleifera* en vermicompost produjeron un mayor contenido de macronutrientes esenciales (Ca, K, Mg y P) y una notable proliferación de *Eisenia fetida*, lo que refleja un incremento sustancial de la actividad biológica. Estos resultados respaldan su potencial como insumo ecológico para mejorar la fertilidad del suelo de manera sostenible.

En el contexto peruano, la evidencia también respalda la relevancia de los sistemas agroforestales y los bosques secundarios. Rojas García (2019) identificó una mayor diversidad de macrofauna en suelos Inceptisoles en comparación con Entisoles en Huánuco; Tuesta Sinarahua (2015) reportó

mayor diversidad y equidad en bosques secundarios frente a sistemas agrícolas en San Martín; y Núñez Vela & García Tuanama (2022) registraron una elevada diversidad de macrofauna en estratos arbóreos de un bosque secundario en Tarapoto, vinculada a una menor perturbación y a la presencia de organismos funcionales clave como ingenieros del suelo y detritívoros.

Bajo este escenario, el presente estudio tiene como objetivo determinar las diferencias en la macrofauna edáfica, la actividad microbiana y la diversidad de especies del suelo entre un sistema agroforestal con *Moringa oleifera* y un bosque secundario en la región San Martín, Perú, con la hipótesis de que estas variables presentan diferencias significativas entre ambos sistemas.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El estudio se realizó en el distrito de Morales, provincia de San Martín, departamento de San Martín, Perú, en la selva alta peruana, a una altitud de 320 m s. n. m., con coordenadas UTM: Zona 18S, 345657,24 E y 9284716,51 N. Las parcelas evaluadas se ubicaron dentro de las instalaciones de la Universidad Peruana Unión, en un área de clima tropical húmedo, con una temperatura media anual de 25 °C y una precipitación anual que varía entre 1000 y 1200 mm, según datos de la estación meteorológica El Porvenir – SENAMHI. El muestreo se realizó durante dos épocas climáticas contrastantes: época húmeda, de marzo a mayo, con una precipitación media de 3,25 mm, y época seca, de junio a agosto, con una precipitación media de 1,01 mm.

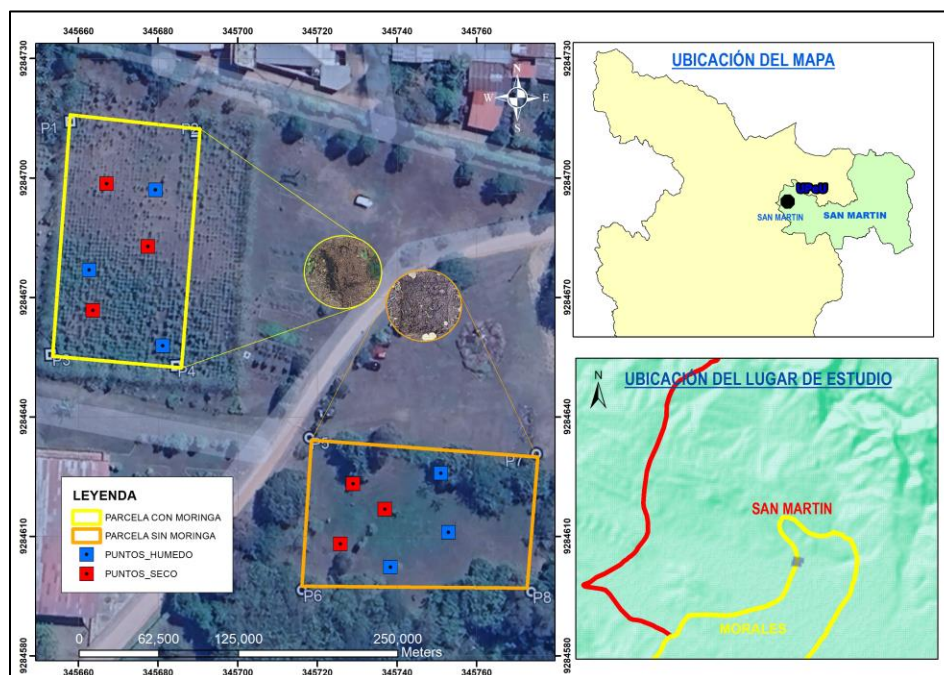


Figure 1. Geographical Location of the Soil Plots

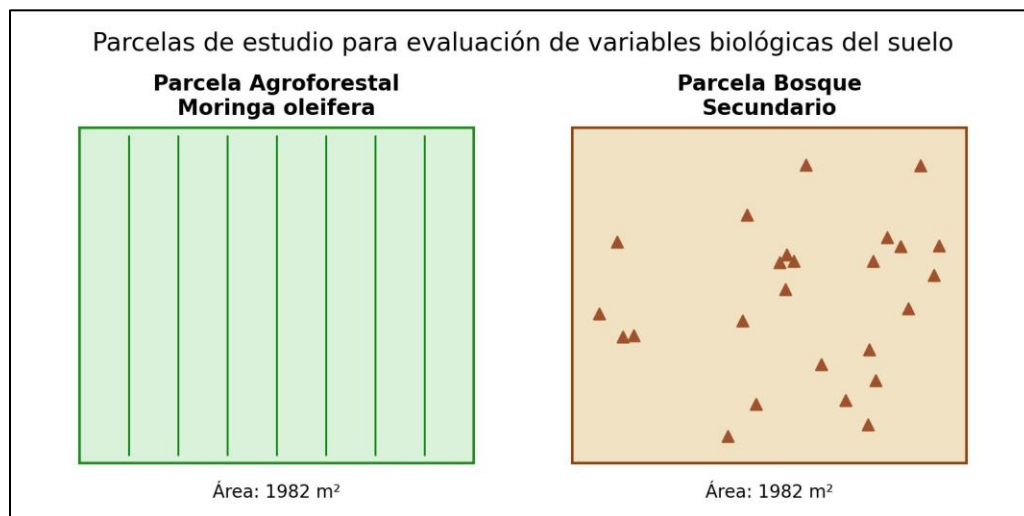
Figura 1: Ubicación geográfica de las parcelas de suelo
Parcelas de Campo

Con el fin de evaluar y comparar las variables biológicas del suelo en diferentes sistemas de uso del suelo, se establecieron dos parcelas experimentales dentro de la zona de estudio. Una de ellas corresponde a un sistema con *Moringa oleifera*, establecido en un terreno con antecedentes agrícolas

(cultivo de arroz); mientras que la otra parcela corresponde a un bosque secundario en proceso de regeneración natural, sin evidencia reciente de uso agrícola directo. Ambas parcelas fueron seleccionadas por presentar condiciones edáficas similares, comprobadas mediante análisis fisicoquímicos preliminares, lo que permitió minimizar la influencia de factores edafoclimáticos externos sobre los resultados.

Según Chazdon (2003), un bosque secundario se define como aquel que está en proceso de recuperación natural tras una perturbación, sin requerir un uso agrícola intensivo previo; su estructura y composición son indicativas de un ecosistema en sucesión ecológica. Además, la sucesión ecológica se entiende como un cambio direccional en las comunidades vegetales luego de alteraciones, lo que refuerza la clasificación de la parcela como bosque secundario.

Ambas parcelas tuvieron una superficie de 1982 m² y fueron evaluadas bajo los mismos criterios de muestreo. La comparación entre estos sistemas permitió analizar el efecto diferencial de la cobertura vegetal (monocultivo de *M. oleifera* vs. vegetación secundaria diversa) sobre la fauna edáfica y la actividad microbiana del suelo. La disposición espacial de cada sistema se presenta en la Figura 2.



Note: The agroforestry plot consists of rows of *Moringa oleifera*, with each row containing 20 *Moringa* plants. The vegetation density of the secondary forest is significantly higher, with a more complex structure that reflects its natural regeneration.

Nota: La parcela agroforestal está compuesta por hileras de *Moringa oleifera*, donde cada hilera consta de 20 plantas de *Moringa*. La densidad vegetal del bosque secundario es significativamente mayor, con una estructura más compleja que refleja su regeneración natural.

Figure 2: Types of Experimental Plots

Figura 2: Tipos de Parcelas Experimentales

Caracterización fisicoquímica del suelo y condiciones climáticas

Se realizó la caracterización fisicoquímica de los suelos en ambas parcelas, evaluando parámetros de textura y *pH* en laboratorio, siguiendo protocolos estandarizados de análisis de suelos. Los resultados se presentan en la Tabla 1, donde se observa una textura arcillosa en ambas unidades de muestreo, con ligeras diferencias en la proporción de partículas minerales y valores de *pH*. Estas condiciones relativamente homogéneas permitieron asumir que las diferencias biológicas observadas entre parcelas no se deben a variaciones edáficas sustanciales.

Table 1. Average Physico-Chemical Analysis of the Study Plots

Tabla 1. Análisis Físicoquímicos Promedio de las Parcelas de Estudio

Parcelas	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clas. Text.	pH
M. Oleífera	21	26	53	Arcilloso	7,70
B. Secundario	25	30	45	Arcilloso	6,5

Table 2: Average temperature (°C) and precipitation (mm) recorded during the sampling periods in the study area.
Tabla 2: Temperatura media (°C) y precipitación (mm) registradas durante las épocas de muestreo en el área de estudio.

EPOCA	Tem. Media (°C)	Precipitación (mm)
Húmeda	27,41	3,25
Seca	28,12	1,01

Actividad microbiana del suelo

La actividad microbiana fue estimada mediante la técnica de respiración basal del suelo, basada en la producción de dióxido de carbono (CO₂) durante un periodo de incubación. Se utilizó el método propuesto por Anderson (1982), que cuantifica el CO₂ liberado mediante titulación ácido-base, expresado en miligramos de CO₂ por gramo de suelo seco por día (mg CO₂·g⁻¹·día⁻¹). La incubación se realizó durante 7 días a temperatura ambiente, y el CO₂ fue absorbido en solución de hidróxido de sodio (NaOH), posteriormente valorado con ácido clorhídrico (HCl) estandarizado.

La fórmula utilizada fue: $CO_2 \left(\frac{mg}{g \cdot día} \right) = \frac{(Gb - Ga) \times Na \times 22 \times 1000}{p \times \#días}$

CO₂ (mg) = Cantidad de CO₂ producido (en miligramos).

Gb (ml) = Gasto de ácido en el blanco (volumen de ácido utilizado en el control sin muestra, en ml).

Ga (ml) = Gasto de ácido en la muestra (volumen de ácido utilizado en la muestra de suelo, en ml).

Na = Normalidad del ácido utilizado (en equivalente de ácido por litro).

P = Peso de la muestra de suelo (en gramos).

#días = Número de días desde la última lectura de CO₂.

Diversidad de macroinvertebrados edáficos

La evaluación de la macrofauna edáfica se realizó utilizando el protocolo del programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), descrito por Ingram & Anderson (1993). Este método, estandarizado para estudios tropicales, permite comparar comunidades edáficas bajo distintos usos del suelo. Se aplicó un muestreo sistemático, recolectando tres monolitos por parcela, con dimensiones de 25 cm × 25 cm, a una profundidad de 0 a 10 cm, de acuerdo con las especificaciones del método TSBF.

Los organismos recolectados fueron preservados en alcohol etílico al 70 % y trasladados al laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad Peruana Unión, donde fueron pre-identificados con lupa estereoscópica y posteriormente clasificados por unidades taxonómicas (clase y orden) con base en el Atlas of Soil Fauna (Deyn, 2016). La diversidad taxonómica fue cuantificada mediante el índice

de Shannon-Wiener (H'), considerado robusto para estimar la heterogeneidad biológica en sistemas edáficos tropicales.

La fórmula utilizada fue: $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln(p_i)$

S= Número total de especies (o clases en tu caso).

p_i = Proporción de individuos pertenecientes a la i-ésima especie, calculado como: $p_i = \frac{n_i}{N}$

n_i = Número de individuos de la i-ésima especie.

N= Número total de individuos en la parcela (suma de todos los individuos de las clases)

Análisis Estadístico

El estudio siguió un enfoque cuantitativo básico con muestreo aleatorio simple y un alcance descriptivo-correlacional, lo que permitió analizar con representatividad las variables biológicas del suelo y sus asociaciones con el tipo de cobertura vegetal.

El análisis estadístico se realizó utilizando el lenguaje y entorno de programación R, versión 4.2.1 (2023), complementado con el software RStudio y validaciones adicionales en Microsoft Excel. Para verificar la normalidad de las variables dependientes (índice de Shannon, respiración basal del suelo y macrofauna) se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. Dado que los resultados ($p > 0.05$) confirmaron la distribución normal de los datos, se aplicaron pruebas paramétricas. En particular, se llevaron a cabo análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre la actividad microbiana (respiración basal), la diversidad edáfica (índice de Shannon) y la macrofauna, así como modelos de regresión lineal simple para explorar la capacidad predictiva de dichas variables. En todos los análisis se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Resultados

Macrofauna del suelo

Se analizó la abundancia relativa de los taxones de macrofauna del suelo en las parcelas de *Moringa oleifera* y bosque secundario, durante las épocas climáticas contrastantes (seca y húmeda). Para representar visualmente la estructura de la comunidad edáfica, se elaboró un gráfico de barras apiladas que muestra la proporción relativa de cada taxón identificado en las muestras recolectadas.

Esta representación gráfica permitió comparar la composición taxonómica entre sistemas de uso del suelo y evaluar posibles efectos del régimen hídrico sobre la distribución de grupos funcionales. La abundancia relativa se expresó en porcentaje con respecto al total de individuos por parcela y época.

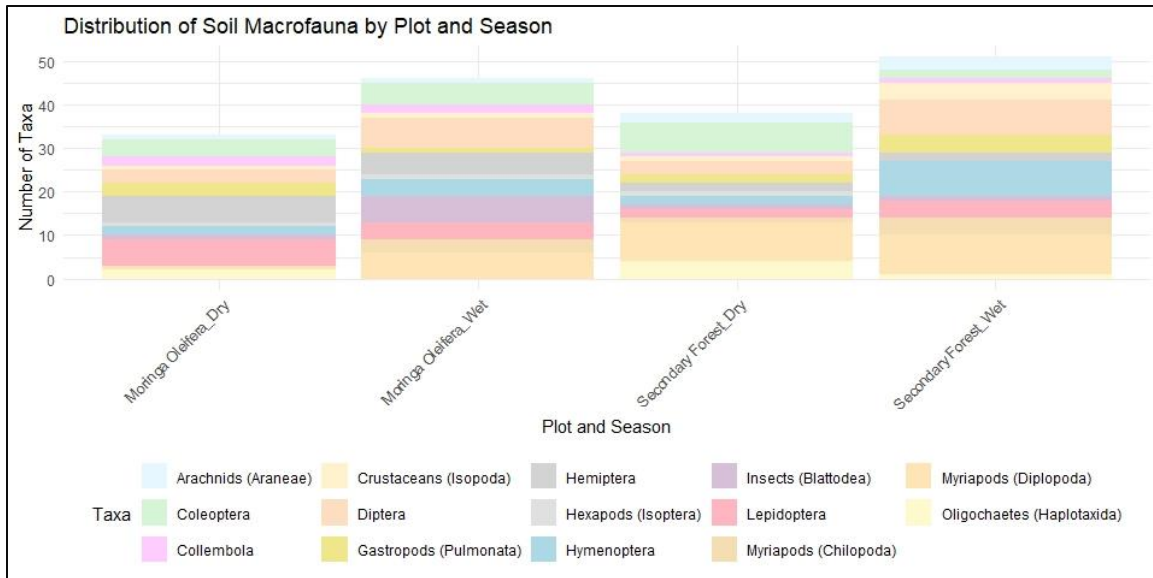


Figure 3. Relative abundance of the main soil macrofauna taxa in *Moringa Oleifera* and secondary forest plots during the wet and dry seasons.

Figura 3. Abundancia relativa de los principales taxones de macrofauna del suelo en parcelas de *Moringa Oleifera* y bosque secundario durante las épocas húmeda y seca.

Actividad Microbiana

La actividad microbiana fue evaluada mediante la tasa de respiración basal, como indicador funcional del metabolismo microbiano en el suelo. La Figura 4 muestra la distribución de los valores obtenidos para cada sistema de uso del suelo (*Moringa oleifera* y bosque secundario) y en ambas épocas climáticas (húmeda y seca), mediante un gráfico de barras.

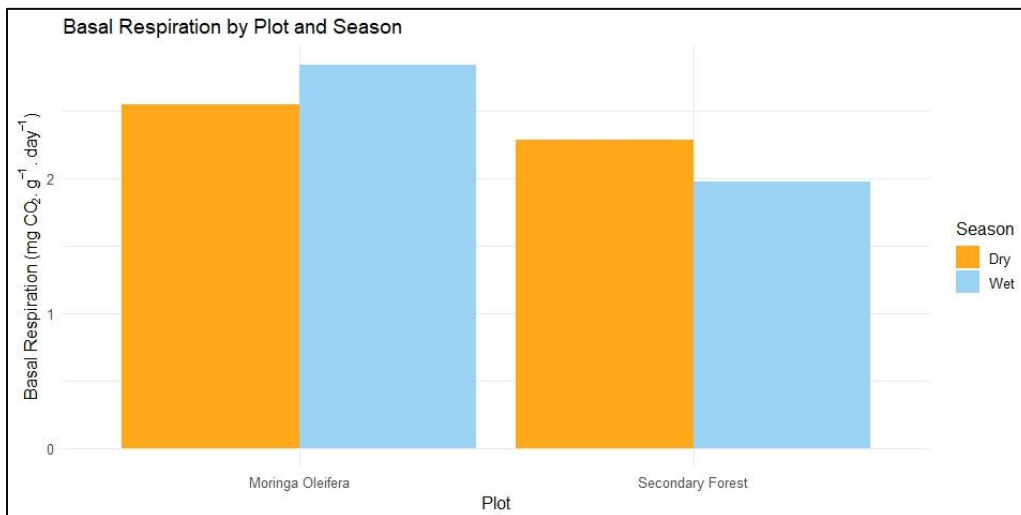


Figure 4. Distribution of soil basal respiration (mg CO₂·g⁻¹·day⁻¹) in *Moringa Oleifera* and secondary forest plots during the wet and dry seasons.

Figura 4. Distribución de la respiración basal del suelo (mg CO₂·g⁻¹·día⁻¹) en parcelas de *Moringa Oleifera* y bosque secundario durante épocas húmeda y seca.

La respiración basal del suelo fue mayor en el sistema con *Moringa oleifera* que en el bosque secundario, tanto en la época seca como en la húmeda. En la temporada seca, los valores fueron de 2.54 mg CO₂·g⁻¹·día⁻¹ en *Moringa oleifera* y 2.28 mg CO₂·g⁻¹·día⁻¹ en el bosque secundario, mientras que en la temporada húmeda se registraron 2.84 mg CO₂·g⁻¹·día⁻¹ y 1.98 mg CO₂·g⁻¹·día⁻¹, respectivamente. Esta tendencia sugiere que la cobertura de moringa favorece condiciones edáficas más propicias para la actividad microbiana, posiblemente debido a un mayor aporte de materia orgánica lábil y a una mejor estructura del suelo que incrementa la aireación y la retención de nutrientes.

En contraste, el bosque secundario presentó menores valores de respiración basal en ambas estaciones, con una reducción más marcada durante la época húmeda (de 2.28 a 1.98 mg CO₂·g⁻¹·día⁻¹). Este patrón podría asociarse con procesos de saturación hídrica y limitaciones en la disponibilidad de oxígeno para la microbiota. En conjunto, estos resultados confirman que la cobertura vegetal influye de forma decisiva en la actividad microbiana del suelo, y que el sistema agroforestal con *Moringa oleifera* mantiene un microambiente más estable y favorable para los procesos biológicos, independientemente de la estacionalidad.

Diversidad de macroinvertebrados edáficos

La diversidad de macroinvertebrados edáficos fue estimada utilizando el índice de Shannon-Wiener (H'), el cual refleja tanto la riqueza como la equidad en la distribución de especies microbianas en el suelo. La Figura 5 presenta los valores del índice diferenciados por época climática (seca vs. húmeda) y tipo de parcela (*Moringa oleifera* y bosque secundario), permitiendo observar patrones estacionales y estructurales en la diversidad de macroinvertebrados edáficos.

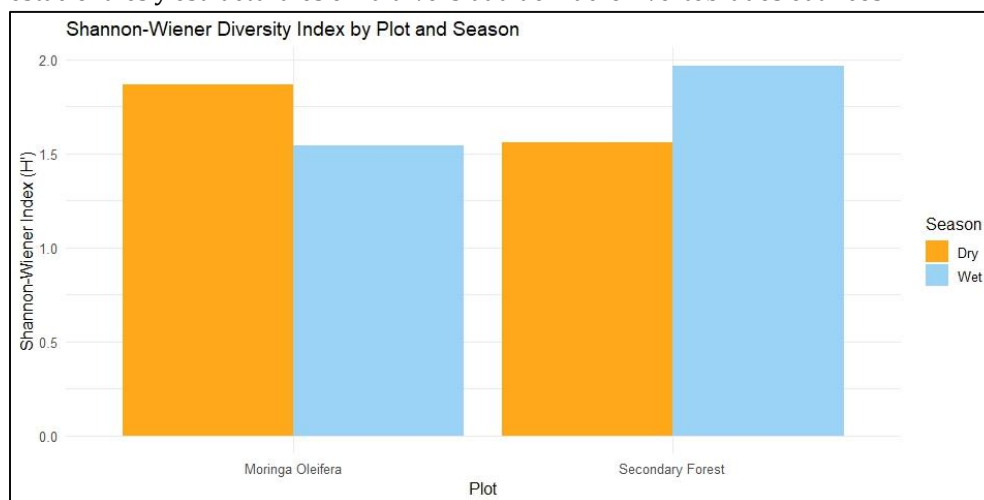


Figure 5. Shannon-Wiener diversity index by season and land use system.

Figura 5. Índice de diversidad de Shannon-Wiener por época y sistema de uso del suelo.

En el bosque secundario se observó una mayor diversidad de macroinvertebrados edáficos durante la época húmeda, con un índice de Shannon-Wiener de H' = 1,96, en comparación con el sistema con *Moringa oleifera* H' = 1,54. Este resultado sugiere que las condiciones edáficas en esta temporada; mayor humedad y disponibilidad de materia orgánica favorecen la presencia de una comunidad de macroinvertebrados más diversa.

Por el contrario, durante la época seca, el sistema con *Moringa oleifera* presentó una diversidad más alta H' = 1,86 respecto al bosque secundario H' = 1,56. Esto indica que, bajo condiciones de menor humedad, el sistema agroforestal mantiene una comunidad de macroinvertebrados más estable,

probablemente gracias a la cobertura arbórea y al aporte de hojarasca que generan microhábitats favorables.

En conjunto, estos resultados muestran que la diversidad de macroinvertebrados edáficos responde de forma diferenciada a la estacionalidad y al tipo de cobertura vegetal: mientras que en el bosque secundario la heterogeneidad estructural favorece la diversidad en la época húmeda, en el sistema con *Moringa oleifera* se evidencia una mayor estabilidad en la época seca.

Comparación de la Actividad Microbiana, Macrofauna y el Índice de Shannon por Parcela y Época

Para evaluar cómo la actividad microbiana (RB), la macrofauna edáfica y la diversidad de macroinvertebrados edáficos (índice de Shannon) varían entre diferentes parcelas (Bosque Secundario y *Moringa Oleífera*) y épocas (húmeda y seca), se realizó un análisis comparativo. El gráfico a continuación muestra las distribuciones de estas variables para cada combinación de parcela y época, permitiendo observar patrones y diferencias en la actividad microbiana, la diversidad y la macrofauna en los distintos entornos y estaciones.

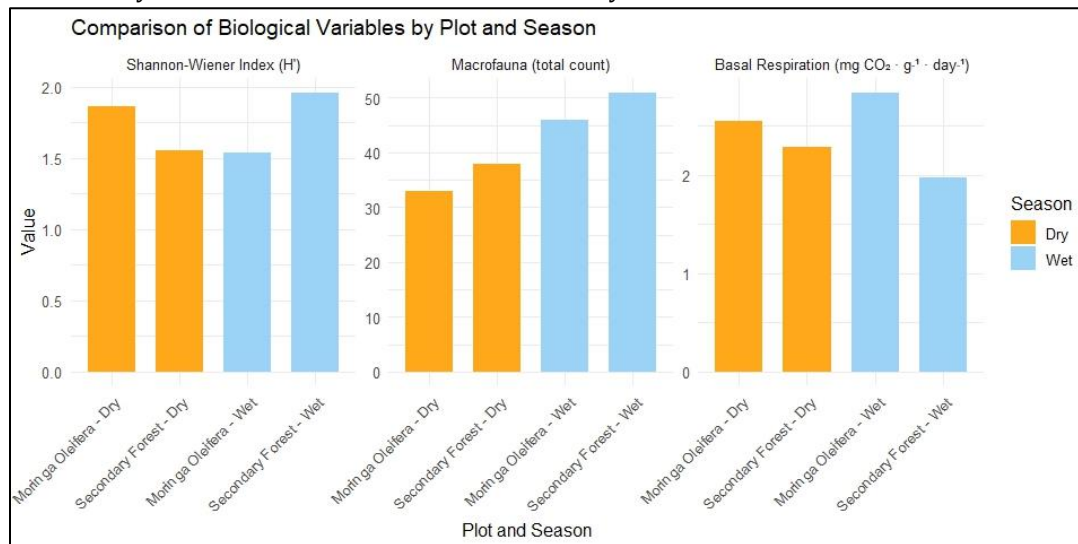


Figure 6. Comparison of biological variables by season and plot.

Figura 6. Comparación de variables biológicas por época y parcela.

En el Bosque Secundario, la diversidad de macroinvertebrados edáficos (índice de Shannon) es mayor en la época húmeda, mientras que la actividad microbiana es más alta en la época seca. La macrofauna también muestra una mayor abundancia en la época seca. Asimismo, en *Moringa Oleífera*, se observa lo contrario: menor diversidad de macroinvertebrados edáficos en la época húmeda, pero más actividad microbiana y macrofauna en la época seca.

Correlación de Pearson para evaluar la relación entre variables biológicas del suelo

A continuación, se muestran los resultados de la correlación de Pearson entre las tres variables: actividad microbiana (RB), índice de Shannon (H'), y macrofauna edáfica en la tabla 3. Estos resultados nos permiten evaluar las relaciones lineales entre las variables y determinar si existe una asociación significativa entre ellas. La tabla muestra los coeficientes de correlación junto con sus p-valores para cada par de variables. También se indica si la relación es estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Table 3. Results of the Pearson Correlation between Microbial Activity (RB), Shannon Index (H') and Soil Macrofauna.

Tabla 3. Resultados de la Correlación de Pearson entre la Actividad Microbiana (RB), el Índice de Shannon (H') y la Macrofauna Edáfica.

Variables Biológicas	P-valor	Significativa
RB vs Ind_Shan	0.1963	No
RB vs Macrofauna	0.2817	No
Ind_Shan vs Macrofauna	0.0287	Sí

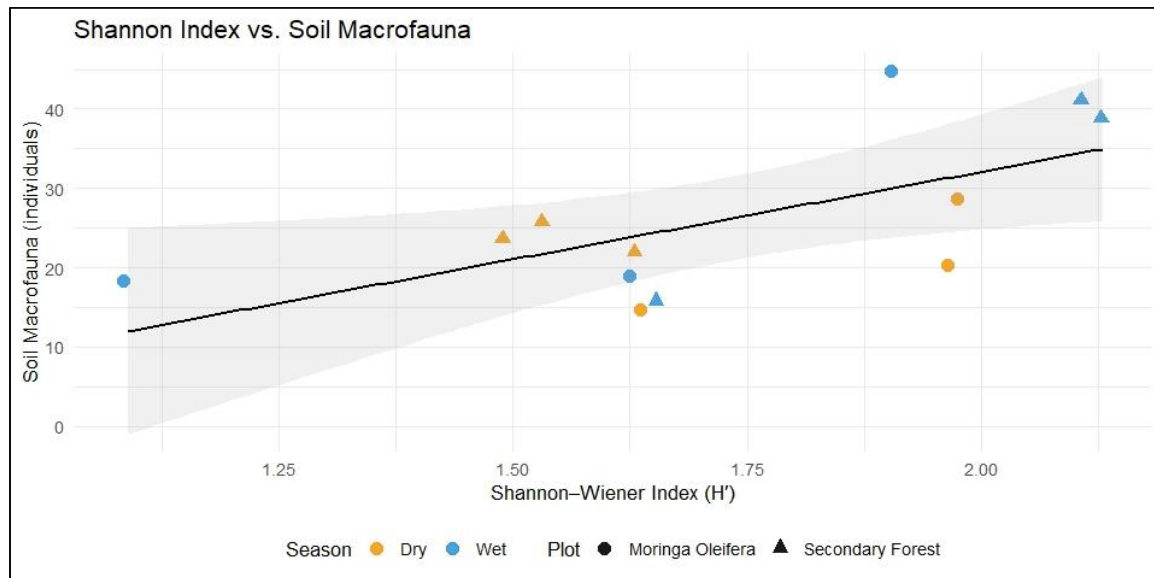


Figure 7. Linear regression between biological variables.

Figura7. Regresión lineal entre las variables biológicas

El análisis de regresión lineal evaluó las relaciones entre la actividad microbiana (RB), el índice de diversidad de Shannon (H') y la macrofauna del suelo. Se encontró una tendencia negativa débil entre la RB y la macrofauna del suelo, pero esta relación no fue estadísticamente significativa ($p > 0,05$). En contraste, se observó una correlación positiva y significativa entre la diversidad de Shannon y la macrofauna del suelo ($p < 0.05$), lo que indica que una mayor diversidad se asocia con una mayor abundancia de macrofauna.

Discusión

Los resultados de este estudio evidencian diferencias significativas entre el sistema agroforestal con *Moringa oleifera* y el bosque secundario en relación con la actividad microbiana y la diversidad de macroinvertebrados edáficos, la cual mostró una asociación estrecha con la abundancia de la macrofauna. Estos hallazgos confirman que tanto el tipo de cobertura vegetal como las condiciones estacionales influyen de manera diferenciada en la dinámica biológica del suelo. Además son consistentes con los de Rojas García (2019) y Tuesta Sinarahua (2015), quienes también documentaron patrones de diversidad de macrofauna en sistemas de uso similar en la región San Martín. Esto refuerza la idea de que la regeneración natural en los bosques secundarios juega un papel clave en la biodiversidad del suelo.

En primer lugar, la actividad microbiana mostró valores consistentemente más altos en la parcela con *M. oleifera*, tanto en época húmeda como seca. Este patrón puede atribuirse al aporte constante de hojarasca y raíces finas de la moringa, que incrementan la disponibilidad de sustratos lábiles y mejoran la aireación del suelo. Resultados similares han sido reportados por Gong et al. (2023)

quienes destacan la capacidad de los sistemas agroforestales para sostener comunidades microbianas activas aun en condiciones limitantes. En contraste, en el bosque secundario se observó una reducción de la respiración basal en la época húmeda, posiblemente vinculada a la saturación hídrica y la limitación de oxígeno, lo que concuerda con lo descrito por Ferris y Tuomisto (2015) respecto a la sensibilidad del microbiota a la disponibilidad de aireación en suelos tropicales.

Las diferencias en la actividad microbiana y la diversidad de macroinvertebrados edáficos se relacionan estrechamente con la estacionalidad y las condiciones climáticas registradas en el área de estudio, lo que concuerda con el patrón climático caracterizado por una mayor precipitación de 3.25 mm y una temperatura media de 27.4 °C en la época húmeda, frente a una precipitación de 1.01 mm y una temperatura media de 28.1 °C en la época seca (Tabla 2). Durante la época húmeda, el bosque secundario presentó una mayor diversidad de macroinvertebrados, lo que sugiere un efecto positivo de la humedad sobre la disponibilidad de microhábitats. En contraste, en la época seca el sistema con *Moringa oleifera* mostró una mayor actividad microbiana y estabilidad en la comunidad edáfica, lo que refleja su resiliencia frente a condiciones limitantes de humedad.

Respecto a la macrofauna del suelo, se encontró que su abundancia estuvo más relacionada con la diversidad de macroinvertebrados edáficos que con la actividad metabólica. La correlación positiva y significativa entre el índice de Shannon y la macrofauna ($r = 0.63$; $p < 0.05$) resalta la importancia de la diversidad como motor del mantenimiento de comunidades edáficas complejas. Este patrón es coherente con lo señalado por Benito *et al.* (2004) quienes subrayan que una mayor diversidad de macroinvertebrados edáficos facilita la disponibilidad de recursos y microhábitats para la fauna del suelo, contribuyendo a la estabilidad funcional de los ecosistemas.

Asimismo, el análisis de la estructura taxonómica reveló diferencias notables: el sistema de moringa mostró una comunidad más heterogénea con presencia de Díptera, Lepidóptera y Hemíptera, mientras que el bosque secundario presentó mayor dominancia de grupos como Araneae y Coleóptera. Estas diferencias sugieren que el manejo agroforestal promueve la coexistencia de varios grupos funcionales, mientras que el bosque secundario favorece la especialización y dominancia de ciertos taxones.

Finalmente, factores edáficos como la textura y el pH del suelo también podrían haber influido en los resultados. El mayor contenido de arcilla y el pH más alcalino en la parcela de moringa probablemente favorecieron ciertos grupos microbianos, mientras que el suelo más ácido y con menor retención de agua en el bosque secundario pudo beneficiar a otros.

En conjunto, los resultados indican que el sistema con *M. oleifera* aporta estabilidad y resiliencia en condiciones secas, mientras que el bosque secundario conserva una mayor diversidad de macroinvertebrados edáficos en condiciones húmedas, mostrando así funciones complementarias en la dinámica de los ecosistemas tropicales.

Conclusiones

Este estudio resalta la importancia de la biodiversidad faunística del suelo como indicador clave de la salud del ecosistema en sistemas agroforestales. Los resultados obtenidos evidencian que, mientras los sistemas con *Moringa oleifera* ofrecen una mayor estabilidad ecológica en la época seca, los bosques secundarios favorecen una mayor diversidad biológica en la época húmeda, mostrando cómo las condiciones climáticas y la cobertura vegetal influyen de manera diferenciada en los procesos biológicos del suelo. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de prácticas de manejo

sostenible que no solo preserven la biodiversidad, sino que también optimicen los servicios ecosistémicos cruciales como la fertilidad del suelo y la resiliencia climática.

Referencias

- Benito, N. P., Brossard, M., Pasini, A., Guimarães, M. D. F., & Bobillier, B. (2004). Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology*, 40(3–4), 147–154.
<https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2005.02.002>
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1–2), 3–22.
<https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2004.03.005>
- Brown, G. G., Demetrio, W. C., Gabriac, Q., Pasini, A., Korasaki, V., Oliveira, L. J., dos Santos, J. C. F., Torres, E., Galerani, P. R., Gazziero, D. L. P., Benito, N. P., Nunes, D. H., Santos, A., Ferreira, T., Nadolny, H. S., Bartz, M. L. C., Maschio, W., Dudas, R. T., Zagatto, M. R. G., ... Mathieu, J. (2024). Soil macrofauna communities in Brazilian land-use systems. *Biodiversity Data Journal*, 12.
<https://doi.org/10.3897/BDJ.12.E115000>
- Chazdon, R. L. (2003). *Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances*.
<http://www.urbanfischer.de/journals/ppees>
- Deyn, D. (2016). *SOIL BIODIVERSITY ATLAS GLOBAL*.
- Edwards, D. P., & Cerullo, G. R. (2024). Biodiversity is central for restoration. *Current Biology*, 34(9), R371–R379. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2024.02.032>
- Ferris, H., & Tuomisto, H. (2015). Unearthing the role of biological diversity in soil health. *Soil Biology and Biochemistry*, 85, 101–109. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2015.02.037>
- Gianni, J., & Garcia, R. (2019). *DIVERSIDAD DE MACROFAUNA EDÁFICA EN DIFERENTES TIPOS TAXONÓMICOS DE SUELOS EN EL SECTOR TRAMPOLIN, PUMAHUASI - LEONCIO PRADO- 2018*.
- Gong, X., Shi, S., Li, X., Chen, X., Sun, J., Hu, F., Liu, M., & Delgado-Baquerizo, M. (2023). Fauna-microbe diversity coupling lost in agricultural soils: Implications from the bacteria hidden in earthworm gut. *Fundamental Research*. <https://doi.org/10.1016/J.FMRE.2023.03.002>
- Hiura, T., Okada, H., Terada, C., Nakamura, M., & Kaneko, N. (2024). Effects of soil compaction on above- and belowground interactions during the early stage of forest development. *Urban Forestry & Urban Greening*, 102, 128565. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2024.128565>
- Huo, X., Ren, C., Wang, D., Wu, R., Wang, Y., Li, Z., Huang, D., & Qi, H. (2023). Microbial community assembly and its influencing factors of secondary forests in Qinling Mountains. *Soil Biology and Biochemistry*, 184, 109075. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2023.109075>
- Ingram, J. S. I., & Anderson, J. M. (Jonathan M. (1993). *Tropical soil biology and fertility : a handbook of methods*. CAB International.
- John P. E. Anderson. (1982). *Soil Respiration*.
- Lian, W. H., Zhao, W. S., Han, J. R., Hu, C. J., Shi, G. Y., Chen, F., Li, M. X., Yue, L. X., Li, S., Ali, M., Dong, L., Zhou, T., & Li, W. J. (2025). Impacts of forest expansion on microbial diversity and community assembly in fragmented mountain ecosystems. *Environmental Research*, 270, 120956.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2025.120956>
- Mashamaite, C. V., Mothapo, P. N., Pieterse, P. J., & Phiri, E. E. (2021). The impact of *Moringa oleifera* on the composition and diversity of invertebrate species, with a focus on ants as an indicator group. In *Acta Horticulturae* (Vol. 1306). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1306.13>

- Mihai, R. A., Acurio Criollo, O. S., Quishpe Nasimba, J. P., Melo Heras, E. J., Galván Acaro, D. K., Landazuri Abarca, P. A., Florescu, L. I., & Catana, R. D. (2022). Influence of Soil Nutrient Toxicity and Deficiency from Three Ecuadorian Climatic Regions on the Variation of Biological, Metabolic, and Nutritional Properties of *Moringa oleifera* Lam. *Toxics*, 10(11), 661. <https://doi.org/10.3390/TOXICS10110661>
- Moisa, M. B., Feyissa, M. E., Dejene, I. N., Tiye, F. S., Deribew, K. T., Roba, Z. R., Gurmesssa, M. M., & Gemedi, D. O. (2023). Evaluation of land suitability for *Moringa oleifera* tree cultivation by using Geospatial technology: The case of Dhidhessa Catchment, Abay Basin, Ethiopia. *Oil Crop Science*, 8(1), 45–55. <https://doi.org/10.1016/J.OCSCI.2023.02.007>
- Mokgophi, M. M., Manyevere, A., Ayisi, K. K., & Munjonji, L. (2020). Characterisation of *Chamaecytisus tagasaste*, *Moringa oleifera* and *Vachellia karroo* Vermicomposts and Their Potential to Improve Soil Fertility. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 9305, 12(22), 9305. <https://doi.org/10.3390/SU12229305>
- Noguera Tabalera, A., Reyes Sanches, N., Mendieta Araica, B., & Salgado Duarte, M. M. (2017). *Macrofauna edáfica como indicador de conversión agroecológica de un sistema productivo de Moringa oleifera* Lam. en Nicaragua. 40, 265–275.
- Núñez Vela, A. A., & García Tuanama, S. (2022). *Abundancia y diversidad de la macrofauna edáfica en un bosque secundario de la Universidad Peruana Unión, Tarapoto*. Universidad Peruana Unión. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5372>
- Saltonstall, K., van Breugel, M., Navia, W., Castillo, H., & Hall, J. S. (2025). Soil microbial communities in dry and moist tropical forests exhibit distinct shifts in community composition but not diversity with succession. *Microbiology Spectrum*, 13(3). <https://doi.org/10.1128/spectrum.01931-24>
- Singini, E. J., & Baso, N. C. (2025). Land use change, invasive species, and climate change: Drivers of biodiversity decline across IUCN conservation categories. *South African Journal of Botany*, 180, 730–739. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2025.03.048>
- Teixeira, H. M., Cardoso, I. M., Bianchi, F. J. J. A., da Cruz Silva, A., Jamme, D., & Peña-Claros, M. (2020). Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic forest. *Forest Ecology and Management*, 457, 117696. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2019.117696>
- Tuesta Sinarahua, M. K. (2015). *Evaluación de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el distrito de nuevo progreso*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1091>