



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**VARIACIÓN INTERANUAL DE ORGANISMOS DE LA
MACROFAUNA EDÁFICA EN UN BOSQUE SECO
TROPICAL DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Sugeidy Mayerly Pozo Pita

LA LIBERTAD, DICIEMBRE 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**VARIACIÓN INTERANUAL DE ORGANISMOS DE LA
MACROFAUNA EDÁFICA EN UN BOSQUE SECO
TROPICAL DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Sugeidy Mayerly Pozo Pita

Tutor: Ing, Daniel Ponce de León

LA LIBERTAD, DICIEMBRE 2025

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **SUGEIDY MAYERLY POZO PITA** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 09/12/2025.

Ing. Lenni Ramírez Flores, MSc
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD
PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Daniel Ponce de León Lima, PhD
PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD
PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Washington Perero Vera, MSc
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y luz durante todo este proceso, sin su apoyo y bendiciones, no habría sido posible alcanzar esta meta.

A mi tutor de tesis

A mi tutor Ing. Daniel Ponce de León, por su valiosa orientación, paciencia y dedicación. Gracias por compartir su conocimiento y por acompañarme en cada etapa de este trabajo, guiándome con sabiduría y compromiso.

A mi hermana

A mi querida hermana, gracias por ser mi mayor apoyo incondicional. Tu amor, paciencia y ánimo constante me han dado la fuerza para seguir adelante en los momentos más difíciles. Eres una inspiración para mí, sin ti este logro no habría sido posible.

A mis familiares en general

Finalmente, agradezco a toda mi familia por su amor, comprensión y respaldo incondicional. Su apoyo ha sido un pilar esencial para lograr este sueño.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida profesional y en la realización de esta tesis.

A mi hermana Lcda. Fátima Pozo Pita, mi mayor apoyo y compañera incondicional, gracias por estar siempre a mi lado, por tus palabras de aliento y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, tu fuerza y amor han sido mi inspiración constante desde siempre.

A mi mamá Nelly Pita, por ser el corazón de nuestra familia, ejemplo de valentía y dedicación. Gracias por enseñarme a no rendirme y creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A mi papá Javier Pozo, que aunque ya no está físicamente con nosotros, vive en mi corazón y en cada paso que doy. Por enseñarme el valor del esfuerzo y la honestidad. Este logro es también un homenaje a tu memoria y a todo lo que me inculcaste desde pequeña.

A mis hermanos Richard y Carlos, por compartir conmigo alegrías y retos, por su compañía y apoyo constante. Cada uno de ustedes ha contribuido a que hoy pueda alcanzar esta meta.

A mi abuelo Carlos Pita, por sus sabias palabras y su amor incondicional, que siempre me han dado fuerza y esperanza.

A mi tío Juan Pilay y tía María Pita, quienes han sido como mis segundos padres, por su comprensión, su guía y su amor, por acogerme siempre con los brazos abiertos y por ser un ejemplo a seguir.

A mis primas y primos Susanita, Mayte y Maiker, que son como hermanos, por su amistad, alegría y por ser parte esencial de mi vida.

A mis padrinos Cristóbal Prudente y Maura Gonzabay por su guía constante, apoyo y generosidad. Aprecio profundamente su presencia y compromiso en cada etapa de mi vida.

A Miguel Rodríguez, Armando Gonzabay, Steven Martínez y demás familiares que no alcanzo a mencionar, gracias por contribuir con un granito de arena en mi formación profesional. Su amor, consejos y respaldo han sido fundamentales para alcanzar mis metas.

Y finalmente a mis amigos Nelson Rosales y Giltón Muñoz, eternamente agradecida por su amistad en el transcurso de la carrera.

A todos ustedes, gracias por ser mi familia, mi refugio y mi motor, esta tesis es tan suya como mía, porque sin su apoyo y amor no habría logrado llegar hasta aquí.

RESUMEN

La presente investigación evaluó la variación interanual de organismos de la macrofauna edáfica en un bosque seco tropical ubicado en el Centro de Apoyo Manglaralto, Península de Santa Elena. El estudio tuvo como objetivo caracterizar la diversidad, abundancia y estructura funcional de los invertebrados del suelo en respuesta a las fluctuaciones climáticas anuales, especialmente en los periodos definidos como IPLL, IPS, FPS y FPLL. Se utilizó un diseño de muestreo aleatorio estratificado mediante monolitos de suelo para recolectar y clasificar los principales grupos taxonómicos. Las variables analizadas incluyen el número de individuos, densidad, riqueza específica, igualación y la relación funcional entre grupos como detritívoros, depredadores, herbívoros y omnívoros. Los resultados evidencian variaciones significativas en la estructura de la comunidad edáfica a lo largo de los períodos climáticos, con una mayor diversidad y riqueza en IPLL e IPS, y una disminución marcada durante FPS, que corresponde a una época de estrés por sequía. Los detritívoros predominan en la mayoría de los momentos, especialmente en las transiciones entre períodos húmedos y secos, reflejando su papel clave en el procesamiento y reciclaje de materia orgánica. La abundancia de depredadores y omnívoros está mayormente determinada por las condiciones al inicio de las lluvias y sequías, mostrando picos de actividad funcional en estos momentos. En conjunto, estos resultados indican que la macrofauna del bosque seco tropical del área estudiada presenta una dinámica resiliente frente a las fluctuaciones climáticas interanuales, lo que es crucial para la estabilidad funcional del ecosistema. Esta investigación aporta información valiosa para la conservación y manejo sostenible del bosque seco, proponiendo énfasis en monitorear los cambios climáticos y preservar los procesos ecológicos asociados a la fauna del suelo.

Palabras claves: Invertebrados edáficos, biodiversidad, indicador biológico.

ABSTRACT

This study evaluated the interannual variation of soil macrofauna organisms in a tropical dry forest located in the Manglaralto Support Center, Santa Elena Peninsula. The study aimed to characterize the diversity, abundance, and functional structure of soil invertebrates in response to annual climatic fluctuations, especially during the periods defined as IPLL, IPS, FPS, and FPLL. A stratified random sampling design using soil monoliths was used to collect and classify the main taxonomic groups. The variables analyzed included the number of individuals, density, species richness, evenness, and the functional relationship between groups such as detritivores, predators, herbivores, and omnivores. The results show significant variations in soil community structure across climatic periods, with greater diversity and richness in IPLL and IPS, and a marked decrease during FPS, which corresponds to a period of drought stress. Detritivores predominate at most times, especially during the transitions between wet and dry periods, reflecting their key role in processing and recycling organic matter. The abundance of predators and omnivores is largely determined by conditions at the onset of rainy and dry seasons, with peaks in functional activity occurring at these times. Together, these results indicate that the tropical dry forest macrofauna in the study area exhibits a resilient dynamic in the face of interannual climate fluctuations, which is crucial for the functional stability of the ecosystem. This research provides valuable information for the conservation and sustainable management of dry forests, proposing an emphasis on monitoring climate change and preserving the ecological processes associated with soil fauna.

Keywords: Soil invertebrates, biodiversity, biological indicator.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**VARIACIÓN INTERANUAL DE ORGANISMOS DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN UN BOSQUE SECO TROPICAL DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA**” y elaborado por **Sugeidy Mayerly Pozo Pita**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Sugeidy Mayerly Pozo Pita

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Justificación	2
Objetivos	2
<i>Objetivo General:</i>	2
<i>Objetivos Específicos:</i>	2
Hipótesis	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Bosque Seco Tropical	3
1.1.1 <i>Importancia de los bosques secos tropicales</i>	3
1.2 Suelo	4
1.3 Clima	5
1.4 Clasificación de la fauna edáfica	5
1.4.1 <i>Microfauna</i>	6
1.4.2 <i>Mesofauna</i>	6
1.4.3 <i>Macrofauna</i>	6
1.4.3.1 <i>Lombrices de tierra</i>	8
1.4.3.2 <i>Miriápodos</i>	8
1.4.3.3 <i>Arañas</i>	8
1.4.3.4 <i>Escarabajos</i>	8
1.5 Grupos funcionales de la macrofauna del suelo	9
1.5.2 <i>Herbívoros</i>	9
1.5.3 <i>Depredadores</i>	9
1.5.4 <i>Ingenieros del suelo</i>	9
1.6 Índices de biodiversidad de organismos del suelo	10
1.6.1 <i>Índice de Shannon</i>	10
1.6.2 <i>Índice de Simpson</i>	10
1.6.3 <i>Índice de Riqueza</i>	11
1.6.4 <i>Índice de Igualdad</i>	11
1.7 Variación interanual de la macrofauna edáfica	11
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1 Caracterización del área	13
2.2 Materiales, equipos y reactivos	14
2.2.1 <i>Material de campo para colecta de muestras</i>	14
2.2.2 <i>Material de laboratorio</i>	14
2.2.3 <i>Equipos de laboratorio</i>	14
2.2.4 <i>Softwares</i>	14
2.3 Diseño de Investigación	14
2.3.1 <i>Tipo de investigación</i>	14
2.3.2 <i>Esquema de muestreo aleatorio estratificado</i>	15
2.3.3 <i>Descripción de las variables</i>	15
2.4 Manejo del experimento	17
2.4.1 <i>Sitios de muestreo</i>	17
2.4.2 <i>Procesamiento de muestreo y muestra</i>	18
2.4.3 <i>Procesamiento de la información de los organismos edáficos</i>	18
2.5 Análisis estadístico	18
2.5.1 <i>Test Kruskal – Wallis</i>	18
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1 Zonificación del área de estudio	20
3.1.1 <i>Análisis de la Variación interanual climática en los últimos siete años de la parroquia Manglaralto</i>	20
3.2 Propiedades Físicas y Físioquímicas del suelo	24
3.3 Determinación de la biodiversidad los organismos edáficos	26
3.3.1 <i>Total de individuos colectados en el bosque</i>	26

3.3.2	<i>Familia de organismos edáficos encontrados en el estudio</i>	27
3.4	Análisis de los índices de biodiversidad	29
3.5	Curvas de rango abundancia por muestreo	33
3.6	Grupos funcionales por muestreo	37
3.7	Relación Detritívoro/No detritívoro (Det/NoDet)	38
3.8	Análisis de varianza Kruskal – Wallis	39
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
	Conclusiones.....	46
	Recomendaciones.....	47
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la fauna edáfica	6
Tabla 2. Clasificación de la macrofauna edáfica	7
Tabla 3. Datos de índices de biodiversidad, grupos funcionales, relación detritívoros / no detritívoros, momento de muestreo (T) y período lluvioso por unidad de muestreo (monolito) ...	16
Tabla 4. Datos Climáticos de los últimos siete años extraído de NASA POWER Data Access Viewer (DAV).	22
Tabla 5. Estadísticos descriptivos de propiedades analíticas del suelo en el sitio Manglaralto tomadas por cada monolito.....	24
Tabla 6. Familias de organismos edáficos encontrados en el estudio.	28
Tabla 7. Resultados con diferencias significativas (p -valor < 0.05) en el análisis de varianza Kruskal-Wallis para indicadores faunísticos y de diversidad agrupados por momento de muestreo T. Se muestran los valores de probabilidad p asociados a las correcciones Bonferroni, Holm y BH.....	40
Tabla 8. Resultados con diferencias significativas (p -valor < 0.05) en el análisis de varianza Kruskal-Wallis para indicadores faunísticos y de diversidad agrupados por período. Se muestran los valores de probabilidad p asociados a las correcciones Bonferroni, Holm y BH.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio Centro de Apoyo Manglaralto	13
Figura 2. Climograma general de los siete años extraído de NASA POWER Data Access Viewer (DAV)	23
Figura 3. Total de individuos en los muestreos	27
Figura 4. Índices de diversidad de la macrofauna edáfica (H; Índice de Shannon, D; Índice de Simpson, S; Índice Riqueza, J; Índice de Igualdad) para cada muestreo en BStr (a, b, c, d, e, f) .	33
Figura 5. Curvas de rango abundancia para los seis momentos de muestreo	36
Figura 6. Diagrama de cajas (Box Pot) de la Densidad de individuos por grupos funcionales en cada muestreo.	38
Figura 7. Indicador Detritívoros/No Detritívoros de muestreos realizados.....	39
Figura 8. Gráficas Boxplot de variables faunísticas y de diversidad con diferencias significativas (p-valor<0,05) según la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para diferentes momentos de muestreo T.....	42
Figura 9. Gráficas Boxplot de variables faunísticas y de diversidad con diferencias significativas (p-valor<0,05) según la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para diferentes períodos: inicio del período lluvioso (IPLL), inicio del período seco (IPS), final del período lluvioso (FPLL), final del período seco (FPS).....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1 A. Ubicación de y selección de área experimentada	52
Figura 2A Recolección de muestra de suelo e individuos.....	52
Figura 3A. Clasificación de la fauna edáfica.....	52

INTRODUCCIÓN

La variación interanual de invertebrados edáficos en un bosque seco tropical, como el del centro de apoyo Manglaralto, es un tema de gran relevancia en el campo de la ingeniería agropecuaria. Realizar este estudio es importante porque permite comprender cómo las condiciones climáticas y el uso del suelo influyen en la biodiversidad y la dinámica poblacional de los invertebrados edáficos. Estos organismos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas terrestres, ya que son clave en procesos como la descomposición, el reciclaje de nutrientes y la estructura del suelo.

El problema principal que se intenta resolver es la falta de comprensión sobre cómo las fluctuaciones interanuales afectan a las comunidades de invertebrados edáficos en bosques secos tropicales. Este conocimiento es esencial para desarrollar estrategias efectivas de conservación de estos ecosistemas, que enfrentan amenazas como la fragmentación y el cambio climático. Aunque el estudio puede no resolver completamente este problema, aporta información valiosa sobre la dinámica de estas comunidades, lo que es un paso crucial hacia su resolución.

Este trabajo aporta al campo en relación con el suelo al proporcionar datos sobre la variación interanual de invertebrados edáficos en un contexto específico, lo que puede ser extrapolado a otros ecosistemas similares. Además, contribuye a la comprensión de cómo los cambios estacionales y el uso del suelo impactan en la biodiversidad y la estructura de las comunidades edáficas.

A corto plazo, este estudio proporciona una base de datos sobre la macrofauna edáfica en el centro de apoyo Manglaralto, lo que puede ser utilizado para monitorear cambios futuros. A mediano plazo, los resultados pueden informar políticas de conservación y manejo sostenible del bosque seco tropical. A largo plazo, el conocimiento generado puede ayudar a desarrollar estrategias regionales para proteger la biodiversidad y mitigar los efectos del cambio climático en estos ecosistemas.

La novedad de este estudio radica en su enfoque en la variación interanual de invertebrados edáficos en un contexto específico, como el bosque seco tropical del centro de apoyo Manglaralto. Este enfoque temporal y espacial permite una comprensión más detallada de cómo las condiciones ambientales influyen en la dinámica poblacional de estos organismos.

El conocimiento transmitido en este trabajo es importante porque permite a los investigadores comprender mejor los mecanismos que regulan la biodiversidad en bosques

secos tropicales. Esto es crucial para desarrollar estrategias efectivas de conservación y restauración que consideren las variaciones naturales y antropogénicas en estos ecosistemas.

Problema Científico

¿Cuál será la dinámica de poblaciones de los organismos de la macrofauna edáfica en respuesta a la variación climática interanual ?

Justificación

La investigación sobre la dinámica de poblaciones de los organismos edáficos en respuesta a la variación climática interanual es crucial para comprender cómo estos cambios afectan la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Es importante analizar cómo las fluctuaciones climáticas impactan en la disponibilidad de nutrientes y la salud del suelo, lo que a su vez influye en la productividad agrícola. Este conocimiento puede informar prácticas sostenibles de manejo del suelo y conservación de la biodiversidad, mejorando la resiliencia de los agroecosistemas frente a condiciones climáticas variables.

Objetivos

Objetivo General:

Evaluar la dinámica de poblaciones de invertebrados edáficos en respuesta a los cambios climáticos interanuales en el bosque seco tropical del centro de apoyo Manglaralto – UPSE.

Objetivos Específicos:

1. Identificar y caracterizar grupos de invertebrados edáficos seleccionados en diferentes momentos del año.
2. Establecer la relación entre índices faunísticos y las variables climáticas.
3. Generar recomendaciones orientadas a la conservación de la biodiversidad edáfica.

Hipótesis

La variación de grupos de invertebrados edáficos en el bosque seco tropical del centro de apoyo Manglaralto – UPSE responde a las variaciones climáticas interanuales.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Bosque Seco Tropical

El bosque seco tropical de la región Pacífico Ecuatorial alberga una macrofauna edáfica diversa y funcionalmente importante. En estos ecosistemas, organismos como termitas, hormigas, arañas, coleópteros y chinches constituyen las comunidades principales, con variaciones según el uso del suelo y las condiciones ambientales. La diversidad y abundancia de la macrofauna reflejan la salud del suelo y su capacidad de mantener procesos ecológicos críticos. Su estudio interanual permite comprender las fluctuaciones en estos organismos y su respuesta a factores climáticos y antropogénicos, aportando datos esenciales para la conservación y manejo sostenible del bosque seco tropical (Espinosa *et al.*, 2012).

El bosque seco tropical Colonche, ubicado en Santa Elena, presenta una diversidad significativa de flora con 385 árboles distribuidos en 16 especies pertenecientes a 15 familias botánicas. Este ecosistema se caracteriza por su clima seco tropical y vegetación dominante que son ecológicamente importantes. En cuanto a la fauna edáfica, este tipo de bosques alberga una diversidad de organismos del suelo que contribuyen a la descomposición y reciclaje de materia orgánica, desempeñando un papel crucial en la estructura y función del ecosistema. Además, la conservación es vital debido a amenazas como la deforestación y expansión agrícola en la zona (Pardo-Reyes y Verdezoto, 2023).

Los bosques secos tropicales, estacionalmente son reconocidos por su gran importancia biológica y económica al poseer un alto número de especies, la gestión de los bosques secos en la provincia de Santa Elena, Ecuador, se centra en la conservación de un ecosistema caracterizado por su alta biodiversidad y adaptación a periodos prolongados de sequía. Estos bosques presentan una vegetación caducifolia y xerófila, con especies arbóreas y arbustivas que soportan condiciones climáticas extremas, (Astudillo-Sánchez *et al.*, 2019).

La conservación es crucial debido a la presión antrópica que afecta su estructura y dinámica, poniendo en riesgo su biodiversidad y servicios ecosistémicos. Por tanto las estrategias de manejo promueven la recuperación y protección de estos ecosistemas, vitales para el equilibrio ecológico y la estabilidad ambiental.

1.1.1 Importancia de los bosques secos tropicales

Los bosques secos tropicales son ecosistemas vitales que albergan una alta diversidad de especies, muchas de ellas endémicas y adaptadas a condiciones de estacionalidad hídrica y suelos particulares. Estos bosques contribuyen a la regulación del microclima, la

conservación del suelo, además de ser refugio para una fauna edáfica esencial, que participa en la descomposición de materia orgánica y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. La fauna edáfica, compuesta por organismos del suelo, es clave para los procesos ecológicos que sostienen la biodiversidad y productividad de estos bosques, cuya conservación es crucial debido a su alta vulnerabilidad y pérdida acelerada por actividades humana (Aithor, 2025).

Powers (2019) en su investigación denominada ¿Serán vulnerables los bosques tropicales secos a los cambios climáticos?, tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad y respuesta de los bosques secos tropicales al cambio climático y su impacto en los servicios ecosistémicos. Utilizó revisión bibliográfica y análisis de modelos dinámicos y datos ecológicos de campo. La metodología incluyó el estudio de variaciones en precipitación, crecimiento arbóreo y biodiversidad. Los resultados aportan evidencia sobre la sensibilidad de estos bosques a cambios en lluvia y temperatura, implicando variaciones en la composición de especies y recursos edáficos, así como la necesidad de adaptación mediante reforestación y manejo sostenible para conservar la diversidad funcional del suelo y su macrofauna. Estos hallazgos aportan bases para tu estudio de variación interanual de macrofauna edáfica en bosques secos tropicales.

Se ha resaltado la importancia ecológica de los bosques secos tropicales y su fauna edáfica, enfatizando la función vital de estos bosques en la regulación micro climática, conservación del suelo y como refugio de organismos edáficos clave para la fertilidad y desarrollo (Aithor, 2025). Powers, mediante revisión bibliográfica y modelos ecológicos, evaluó la vulnerabilidad de estos bosques al cambio climático, mostrando impactos en la composición arbórea y la biodiversidad edáfica. Ambos coinciden en la sensibilidad de estos ecosistemas y la necesidad de estrategias adaptativas para su conservación efectiva.

1.2 Suelo

Según (Lopez, 2006) citado en (Pincay, 2020) desde el punto de vista científico el suelo constituye el objeto de estudio de la Edafología, la cual lo define como "ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre)". El suelo forma un sistema abierto a la atmósfera y la corteza que almacena de forma temporal los recursos necesarios para los seres vivos.

El suelo de los bosques secos tropicales exhibe una resiliencia única, caracterizada por una rápida mineralización de materia orgánica al inicio de las lluvias y una alta dependencia de los procesos biológicos microbianos para la retención de nutrientes en condiciones de déficit hídrico extremo, (Smith, 2023). La naturaleza del suelo en el bosque seco y la rápida mineralización al inicio de las lluvias sugiere que la biota del suelo está adaptada para aprovechar el pulso de humedad liberando nutrientes esenciales. Por otro lado, la dependencia de procesos microbianos en la sequía subraya la fragilidad del ecosistema, donde la retención de nutrientes es crítica para la supervivencia de la flora y fauna. En donde los cambios en la actividad faunística (Depredadores, Detritívoros) y la diversidad están fuertemente ligados a los períodos de transición hídrica.

1.3 Clima

El clima, especialmente la estacionalidad y variabilidad de las precipitaciones, temperatura y humedad relativa, influye significativamente en la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en agroecosistemas de pastizales. Durante el periodo lluvioso y poco lluvioso, se observaron variaciones heterogéneas en la fauna del suelo, con un mejor desempeño en el periodo poco lluvioso del segundo año, posiblemente relacionado con un comportamiento atípico de las precipitaciones. Estas condiciones climáticas afectan la humedad del suelo, fundamental para la respiración y actividad de los organismos edáfico (Cabrera Dávila *et al.*, 2018).

La distribución de los invertebrados terrestres depende de varios factores, entre ellos, las precipitaciones o la estacionalidad del clima; que a la vez definen la temperatura y la humedad del suelo, de modo que son las variables edafo-climáticas que más influyen sobre estas comunidades en los suelos tropicales (Souza, et al., 2016).

1.4 Clasificación de la fauna edáfica

La fauna edáfica es uno de los componentes primordiales del suelo, que está formada por seres vivos que llevan toda o parte de su existencia sobre la superficie directa del suelo, en los troncos podridos y la hojarasca superficial, y bajo la superficie de la tierra, que abarcan desde seres microscopios hasta vertebrados de tamaño medio. Para sobrevivir en el suelo, estos seres vivos han tenido que ajustarse a un entorno reducido, con un suelo compactado, escasez de oxígeno, poca luminosidad y sobre todo con variaciones micro climáticas que pueden ser extremadamente intensas.

Tabla 1. Clasificación de la fauna edáfica

Clasificación	Categoría	Tamaño	Organismos del suelo
Microorganismos	Microflora Microfauna	< 5 μm < 100 μm	Bacterias y hongos Protozoarios y nematodos
Macroorganismos	Mesofauna Macrofauna	100 μm – 2 μm 2-20 mm	Gusanos de primavera y ácaros Lombrices, milpiés, escarabajos, caracoles y babosas.

Fuente: (Cabrera, 2012).

1.4.1 Microfauna

La microfauna se refiere a un conjunto de especies micro animales que viven simultáneamente en una región geográfica particular. Micro animales son animales pequeños que solo se pueden ver y estudiar mediante microscopio. Su tamaño es inferior a 0.1 milímetros (o 100 micrómetros), aunque muchos creen que el componente de este grupo también es especies de hasta 0.199 milímetros (o 199 micrómetros) (Bernard, s.f.).

1.4.2 Mesofauna

(Socarrás, 2013) menciona que la mesofauna es una categoría zoológica cuyos componentes viven toda su vida en el suelo, la cual incluye: ácaros (Acari), colémbolos (Collembola), sínfilos (Symphyla), proturos (Protura), dipluros (Diplura), paurópodos (Pauropoda), tisanópteros (Thysanoptera), socópteros (Psocoptera), enqui- treidos (Enchytraeidae) y polixénidos (Polixenida) de 0,2-2,0 mm de diámetro. La mayoría de los organismos que componen la mesofauna se caracterizan por su sensibilidad a perturbaciones tanto naturales como antrópicas generadas en el medio, las cuales originan cambios en su composición específica y en la abundancia, ocasionando pérdida de especies y la diversidad de las mismas, conllevando a una disminución de la estabilidad y la fertilidad. (Flores, et al., 2018).

1.4.3 Macrofauna

Está compuesta por invertebrados mayores a 2 mm los cuales se pueden detectar a primera vista y que se destaca porque directa o indirectamente afectan las propiedades del suelo. Los macroinvertebrados edáficos se constituyen uno de los factores formadores del suelo, interviniendo en los ciclos de los nutrientes, en la regulación de la dinámica de la materia orgánica, secuestro de carbono en la regulación de gases de invernadero y a su vez modifican su estructura. (Anchundia, 2017).

Tabla 2. Clasificación de la macrofauna edáfica

Nombre Común	Grupo Taxonómico	Grupo Funcional
Lombrices de tierra	Orden: Haplotaxida Familia: <i>Megascolecidae</i> Especie: <i>poliheretina Onychochaeta</i>	Detritívoros ingenieros del suelo
Babosas y caracoles	Familia: <i>Subulinidae</i> Especie: <i>Subulina octona</i>	Detritívoros Depredadores
Cochinillas	Orden: Isópoda Familia: <i>Trachelipidae</i>	Detritívoros
Milpiés	Clase: Diplópodo	Detritívoros
Ciempíes	Clase: Chilopoda	Depredadores
Arañas	Orden: Araneae	Depredadores
Arañas patonas	Orden: Opiliones	Depredadores
Falsos escorpiones	Orden: Pseudoscorpionida	Depredadores
Cucarachas	Clase: Insecta Orden: Dictyoptera	Detritívoros Herbívoros Omnívoros
Escarabajos	Clase: Insecta Orden: Coleoptera	Detritívoros Herbívoros Depredadores
Tijeretas	Clase: Insecta Orden: dermaptera	Detritívoros Depredadores
Moscas y mosquitos	Clase: Insecta Orden: Díptera	Detritívoros Depredadores
Chinches y salta hojas	Clase: Insecta	Herbívoros
Hormigas	Clase: Insecta Orden: Hymenoptera	Omnívoros Depredadores Ingenieros del suelo
Termitas o comejones	Clase: Insecta Orden: Isoptera	Detritívoros Ingenieros del suelo
Mariposas y orugas	Clase: Insecta Orden: Lepidóptera	Herbívoros
Grillos y Saltamontes	Clase: Insecta Orden: Orthoptera	Herbívoros

Fuente: (Cabrera, 2014)

(Troya, et al., 2016) mencionan que la macrofauna mayor encontrada en los bosques secos del Ecuador son las de ordenes Hymenoptera y Coleópteras. Los hymenopteras representan el 70% del total de individuos que se pueden encontrar en los bosques secos tropicales, destacándose así las hormigas (Formicidae) (Cabrera, 2014) coincide en que las hormigas son los organismos edáficos más abundantes en este tipo de bosques.

Por tanto, a continuación, se describe los principales organismos edáficos encontrados en el bosque seco tropical del Centro de Apoyo Manglaralto.

1.4.3.1 Lombrices de tierra

Según (Domínguez, Aira y Gómez-Brandón, 2009) Las lombrices de tierra son organismos vivos que habitan el suelo y constituyen una importante biomasa animal en muchos ecosistemas. Son cruciales para modificar la estructura del suelo, acelerar el procesamiento de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Su actividad mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, beneficiando a las comunidades vegetales que dependen de estos procesos para su desarrollo y sostenibilidad.

1.4.3.2 Miriápodos

Los miriápodos son artrópodos terrestres con cuerpo segmentado y múltiples pares de patas, que se encuentran principalmente en ambientes húmedos y oscuros como el suelo. Cumplen un papel esencial en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, contribuyendo a la formación y fertilidad del suelo. Destacan los diplópodos y ciempiés, que actúan como detritívoros o depredadores, influyendo directamente en la dinámica ecológica del suelo (Martín Carrillo, 2025).

1.4.3.3 Arañas

Las arañas del suelo son artrópodos que habitan en el estrato inferior de los ecosistemas, donde cumplen un papel esencial como depredadores que regulan poblaciones de insectos y otros invertebrados, contribuyendo al equilibrio ecológico (Almada *et al.*, 2017). Su diversidad y abundancia dependen de la estructura del hábitat y las prácticas agrícolas, siendo indicadores útiles para el estudio de la biodiversidad y el estado del ecosistema edáfico.

1.4.3.4 Escarabajos

Los escarabajos del suelo, especialmente los coprófagos, son esenciales en la descomposición y reciclaje de materia orgánica, favoreciendo la fertilidad del suelo. Estos insectos fragmentan y entierran excrementos, lo que contribuye a la liberación y distribución de nutrientes como P, K y nitrógeno, mejorando la estructura y capacidad del suelo para retener agua, su presencia indica un ecosistema saludable y funcional.

1.5 Grupos funcionales de la macrofauna del suelo

Según Zambrano (2021) en su artículo científico menciona que la macrofauna del suelo está compuesta por diversos grupos funcionales, en los que se puede encontrar detritívoros, herbívoros, depredadores e ingenieros del suelo.

1.5.1 Detritívoros

Según Herrera (2021) Los detritívoros son organismos que consumen materia orgánica muerta y en descomposición, siendo cruciales para el reciclaje de nutrientes en el suelo. Fragmentan la materia orgánica, facilitando la acción de microorganismos y propiciando la formación de humus, lo que mejora la fertilidad y estructura del suelo.

1.5.2 Herbívoros

Los herbívoros del suelo son organismos que se alimentan de materia vegetal viva, como raíces y tejidos subterráneos, influyendo directamente en la dinámica del ecosistema edáfico. A través de su alimentación, afectan la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la composición de comunidades vegetales, lo que impacta la biodiversidad y productividad del ecosistema. Estos herbívoros pueden ser tanto macro como microfauna del suelo (Cristina, 2016).

1.5.3 Depredadores

La macrofauna del suelo incluye depredadores como arácnidos, escolopendras y coleópteros (familias Carabidae y Staphylinidae) que regulan las poblaciones de otros invertebrados, contribuyendo al equilibrio del ecosistema edáfico. Estos depredadores impactan la biodiversidad y la dinámica del suelo, influyendo en procesos como la descomposición y la mineralización. La variabilidad en su abundancia está ligada a factores como el uso del suelo, la estructura vegetal y las condiciones edáficas (Nuria y Patrik, 2008).

1.5.4 Ingenieros del suelo

Los ingenieros del suelo, como lombrices, termitas y hormigas, son organismos clave que modifican la estructura del suelo a través de su actividad bioturbadora, mejorando la porosidad, aireación y la infiltración de agua. Su papel es fundamental en la fragmentación y mezcla de materia orgánica, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y promoviendo la biodiversidad microbiana. Estas interacciones biológicas contribuyen a la formación y

mantención de la fertilidad y salud del suelo, esenciales para la productividad agrícola sostenible.

1.6 Índices de biodiversidad de organismos del suelo

1.6.1 Índice de Shannon

El índice de Shannon es un índice de diversidad o también conocido como entropía de Shannon que cuantifica la riqueza y la uniformidad de especies en una comunidad, mide la incertidumbre en la predicción de la identidad de una especie seleccionada al azar, reflejando tanto el número de especies como la distribución equitativa de individuos entre ellas. Este índice es ampliamente utilizado para evaluar la biodiversidad en ecosistemas, siendo sensible a la presencia de especies inauditas y permitiendo comparaciones precisas entre comunidades (Maciej K, 2020).

S

$$H = \sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

$i=1$

Donde:

p_i = proporción de especies.

S= número de especies (riqueza de especies).

\ln = Logaritmo natural.

1.6.2 Índice de Simpson

El índice de Simpson establece la probabilidad de que dos individuos seleccionados de manera aleatoria de una muestra pertenezcan a las mismas especies. Está fuertemente influida por la importancia de las especies más predominantes como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1/\lambda$. Por lo tanto, el índice de diversidad de Simpson ($1-D$) varía entre cero y uno donde el sitio más diverso es el que más se acerca a cero. Según Simpson desarrolló un estimador insesgado (λ) para muestreos en poblaciones infinitas (Salmerón, 2017).

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

Donde:

D: Índice de Simpson.

n: Número total de organismos de una especie.

N: Número total de organismo de todas las especies.

1.6.3 Índice de Riqueza

El índice de riqueza refleja el número total de familias o especies presentes en la macrofauna del suelo. Una mayor riqueza indica mayor heterogeneidad y complejidad ecológica, contribuyendo a la estabilidad del ecosistema y al funcionamiento de los procesos del suelo.

1.6.4 Índice de Igualdad

El índice de igualdad evalúa la distribución equitativa de abundancias entre las especies de macrofauna edáfica. Valores altos reflejan comunidades balanceadas sin dominancia de un grupo, lo que indica un ecosistema saludable y funcional con procesos ecológicos equilibrados.

1.7 Variación interanual de la macrofauna edáfica

La variación climática interanual en los bosques secos tropicales es entendida como la diferencia en precipitaciones y temperaturas entre años, tiene efectos directos e indirectos sobre la estructura, abundancia y funciones de la macrofauna edáfica (lombrices, termitas, hormigas, coleópteros, cochinillas, entre otros, etc.). Estos organismos responden a cambios en la disponibilidad de hojarasca y por tanto su abundancia y composición tienden a reflejar las fluctuaciones climáticas anuales que afectan la producción y descomposición de hojarasca del suelo (Sanches *et al.*, 2008).

Los efectos directos de la variación interanual suelen manifestarse en variaciones de densidad y actividad, es decir en épocas más secas y cálidas reducen la humedad superficial y pueden desplazar o disminuir grupos sensibles (ej. termitas, coleópteros), mientras que en épocas más húmedas favorecen la actividad de descomponedores y la reproducción de algunos organismos. Indirectamente, la variación interanual modifica la cantidad y calidad de la hojarasca y la estructura de la vegetación, lo que altera los recursos disponibles para la

macrofauna del suelo. Por tanto, la variación interanual en la comunidad de macrofauna puede funcionar como indicador integrado de la dinámica climática (Lawrence *et al.*, 2020).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

El presente proyecto se desarrolló en el Centro de Apoyo Manglaralto, perteneciente a la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), ubicada en la parroquia Manglaralto del cantón Santa Elena, entre la ruta del Spondylus y la vía a Dos Mangas, con las coordenadas geográficas 01°50'32" latitud Sur, 80°44'22" longitud Oeste, a una altura de 12 msnm.

El clima de esta región se caracteriza por ser tropical seco y está clasificado como según la clasificación de Köppen-Geiger, su temperatura media anual es de 23.1°C con aproximadamente 795 mm de precipitaciones al año, dando como resultado que en el mes de febrero se registra mayor cantidad de precipitaciones con un promedio de 161 mm siendo el mes más lluvioso, mientras que el mes de agosto las precipitaciones disminuyen significativamente con solo 15 mm lo que hace que este mes se caracterice por ser muy seco o árido. Centrándose en la temperatura el mes de marzo presenta la más alta alcanzando una temperatura media de hasta 25.3°C, mientras que en agosto se registran unas temperaturas más bajas (21.5°C).



*Figura 1. Ubicación del área de estudio
Centro de Apoyo Manglaralto*

2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 *Material de campo para colecta de muestras*

Para realizar el muestreo se emplearon varios materiales esenciales para la captura y conservación de los insectos. Se utilizó un kit entomológico con herramientas específicas para atrapar los insectos, una bandeja plástica para clasificar los organismos, y herramientas como pala y barreta para remover el suelo por capas. Además, se usó un machete para limpiar el área de muestreo, junto con frascos herméticos y aspiradoras artesanales para almacenar adecuadamente los organismos encontrados en el suelo.

2.2.2 *Material de laboratorio*

En el laboratorio se emplearon materiales esenciales como mascarilla, guantes de nitrilo y bata para manejar los reactivos de forma segura. Para conservar los organismos del suelo, se utilizaron dos productos químicos principales: alcohol al 70% y formol al 35%, garantizando así la preservación adecuada de las muestras.

2.2.3 *Equipos de laboratorio*

Se empleó un estereoscopio MOTIC LED SMZ-171 TLED para identificar los organismos recolectados, mientras que una computadora permitió organizar la información obtenida durante el proceso de análisis.

2.2.4 *Softwares*

Se empleó Excel office 365 R (R Core Team, 2024) y RStudio 2025.09.0 Build 387 para el análisis estadístico y generación de gráficos, paquetes: BiodiversityR, índices de biodiversidad, curvas rango-abundancia (Kindt and Coe, 2005); ggplot2, gráficas (Wickham, 2016); kableExtra, tablas (Zhu, 2024). La representación geográfica de los sitios muestreados se realizó mediante QGIS 3.28 LTR, y el software Motic Images Plus 3.0 permitió documentar mediante imágenes la macrofauna recolectada durante el estudio.

2.3 Diseño de Investigación

2.3.1 *Tipo de investigación*

Es una investigación exploratoria es un tipo de estudio que se realiza cuando se aborda un tema nuevo o poco conocido, o cuando el problema de investigación no está

claramente definido, en este caso hablamos de la macrofauna edáfica en el centro de apoyo Manglaralto.

2.3.2 Esquema de muestreo aleatorio estratificado

Siguiendo la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), se abordó un muestreo aleatorio estratificado evaluando a diversidad y abundancia de organismos del suelo en estratos representativos del área de estudio (Moreira, 2012).

2.3.3 Descripción de las variables

Densidad (ind.m⁻²): Representa la cantidad de individuos por unidad de área, expresada en individuos por metro cuadrado (ind·m⁻²). Esta variable permite comparar la concentración de organismos entre diferentes momentos o usos del suelo, y refleja la capacidad del ambiente para sustentar comunidades biológicas bajo distintas condiciones edáficas y climáticas.

Índices de diversidad: Son mediciones cuantitativas que, al calcularse a partir de las abundancias de organismos, permiten cuantificar la riqueza (S), la complejidad (H'), la dominancia (D) y la uniformidad (J' o equitatividad) de una comunidad biológica, lo cual es esencial para evaluar la salud y estabilidad ecológica de un ecosistema y detectar cambios causados por disturbios o factores ambientales.

Índices Faunísticos: Se aplica exclusivamente a estudio de la fauna de un ecosistema que, al cuantificar el número de individuos por taxón (grupo o especie) en la macrofauna, permiten caracterizar la estructura y composición de una comunidad biológica, identificando cuáles son los grupos más dominantes, constantes o accidentales, su distribución en el tiempo, su importancia ecológica, y su potencial como indicadores del estado del suelo en estudios comparativos.

Variación climática: Incluye los cambios en las condiciones ambientales como: temperatura y precipitación que ocurren a lo largo del periodo de estudio, los datos fueron extraídos de *NASA POWER Data Access Viewer (DAV)*. Estas variables influyen directamente en la dinámica poblacional de la macrofauna edáfica, afectando su abundancia, actividad biológica y patrones de diversidad. En ecosistemas de bosque seco tropical, la variación climática entre épocas secas y lluviosas es determinante para la disponibilidad de recursos y la composición funcional de la comunidad del suelo.

La tabla presenta los valores obtenidos en seis momentos de muestreo por monolitos realizados en el bosque seco tropical (BSTR), correspondientes a distintos períodos climáticos: inicios del periodo lluvioso (IPLL), inicios del periodo seco (IPS), finales del periodo seco (FPS) y finales del periodo lluvioso (FPLL). Se incluyen variables físicas del suelo (H, D, S, J) y la densidad de los principales grupos funcionales de la macrofauna edáfica: detritívoros (Det), depredadores (Dep), herbívoros (Herb) y omnívoros (Omn), junto con el índice Det_NDet que representa la relación entre detritívoros y no detritívoros. La información permite evidenciar variaciones temporales en la abundancia y composición funcional asociadas a los cambios estacionales de humedad y precipitación.

Tabla 3. Datos de índices de biodiversidad, grupos funcionales, relación detritívoros / no detritívoros, momento de muestreo (T) y período lluvioso por unidad de muestreo (monolito).

Uso	T	H	D	S	J	Det	Dep	Herb	Omn	Det_NDet	Periodo
BSTR	T1	0.67	0.38	3	0.61	96	0	32	416	0,21	IPLL
BSTR	T1	0.60	0.30	4	0.43	752	32	16	112	4,70	IPLL
BSTR	T1	0.95	0.50	4	0.68	160	16	64	0	2,00	IPLL
BSTR	T1	0.88	0.45	4	0.64	32	0	304	0	0,11	IPLL
BSTR	T1	1.09	0.66	3	1.00	0	32	16	0	0,00	IPLL
BSTR	T1	0.37	0.21	2	0.54	112	0	16	0	7,00	IPLL
BSTR	T1	1.51	0.73	6	0.84	128	16	112	144	0,47	IPLL
BSTR	T1	1.58	0.76	6	0.88	16	96	80	96	0,06	IPLL
BSTR	T2	1.88	0.77	11	0.78	400	32	112	144	1,39	IPLL
BSTR	T2	0.95	0.56	3	0.86	16	0	64	0	0,25	IPLL
BSTR	T2	0.90	0.53	3	0.81	0	32	16	80	0,00	IPLL
BSTR	T2	0.00	0.00	1	0.00	0	0	0	160	0,00	IPLL
BSTR	T2	1.41	0.69	6	0.79	128	0	128	0	1,00	IPLL
BSTR	T2	0.79	0.44	3	0.72	0	16	16	80	0,00	IPLL
BSTR	T2	1.32	0.72	4	0.95	64	32	0	0	2,00	IPLL
BSTR	T2	0.00	0.00	1	0.00	0	0	0	176	0,00	IPLL
BSTR	T3	1.09	0.66	3	0.99	112	48	0	0	2,33	IPS
BSTR	T3	2.01	0.84	9	0.92	96	176	16	16	0,46	IPS
BSTR	T3	1.28	0.65	5	0.80	192	64	0	16	2,40	IPS
BSTR	T3	1.39	0.75	4	1.00	16	48	0	0	0,33	IPS
BSTR	T3	1.83	0.74	11	0.76	288	64	96	32	1,50	IPS
BSTR	T3	1.35	0.56	9	0.61	336	128	0	32	2,10	IPS
BSTR	T3	0.66	0.31	4	0.48	224	16	32	0	4,67	IPS
BSTR	T3	1.85	0.83	7	0.95	112	32	32	0	1,75	IPS

BSTr T4	1.46	0.75	5	0.90	640	0	0	80	8,00	IPS
BSTr T4	0.99	0.51	4	0.71	272	64	0	0	4,25	IPS
BSTr T4	1.35	0.70	5	0.83	656	48	112	32	3,42	IPS
BSTr T4	0.62	0.34	3	0.56	592	32	0	0	18,50	IPS
BSTr T4	0.99	0.53	4	0.71	352	0	160	0	2,20	IPS
BSTr T4	1.29	0.67	5	0.80	512	48	80	0	4,00	IPS
BSTr T4	1.04	0.60	4	0.75	304	272	80	0	0,86	IPS
BSTr T4	0.00	0.00	1	0.00	48	0	0	448	0,11	IPS
BSTr T5	1.03	0.58	4	0.74	208	0	176	0	1,18	FPS
BSTr T5	0.00	0.00	1	0.00	0	0	128	0	0,00	FPS
BSTr T5	0.69	0.50	2	1.00	16	0	16	0	1,00	FPS
BSTr T5	0.24	0.12	2	0.35	448	0	32	0	14,00	FPS
BSTr T5	0.00	0.00	1	0.00	0	0	64	0	0,00	FPS
BSTr T5	0.60	0.32	3	0.54	448	0	64	0	7,00	FPS
BSTr T5	0.00	1.00	0	0.00	0	0	0	0	0,00	FPS
BSTr T5	0.95	0.50	4	0.68	176	0	64	0	2,75	FPS
BSTr T6	1.41	0.70	5	0.87	208	0	128	0	1,63	FPLL
BSTr T6	0.99	0.59	3	0.90	304	0	0	0	0,00	FPLL
BSTr T6	1.56	0.74	7	0.80	464	0	112	384	0,94	FPLL
BSTr T6	1.07	0.65	3	0.98	384	0	0	0	0,00	FPLL
BSTr T6	1.71	0.64	4	0.84	192	0	48	0	4,00	FPLL
BSTr T6	0.97	0.49	4	0.70	272	0	32	0	8,50	FPLL
BSTr T6	0.78	0.44	3	0.71	352	48	0	0	7,33	FPLL
BSTr T6	0.63	0.44	2	0.91	48	0	0	0	0,00	FPLL

2.4 Manejo del experimento

2.4.1 Sitios de muestreo

Se seleccionó un área representativa del bosque donde se llevaron a cabo los muestreos, evitando zonas alteradas o con interferencias externas.

Para la recolección de macrofauna se utilizó la metodología de monolitos propuesta por Tropic Soil Biology and Fertility (TSBF), con unidades de muestreo de 25 x 25 cm y profundidad de 0-30 cm. Se realizaron 6 muestreos independientes, cada uno con 8 monolitos como réplicas, asegurando una cobertura adecuada del sitio y representatividad de la fauna presente (Cabrera, 2019).

Todos los organismos fueron recolectados cuidadosamente con pinzas y aspiradoras artesanales para garantizar su integridad y minimizar el daño durante la extracción.

2.4.2 *Procesamiento de muestreo y muestra*

Las muestras recolectadas fueron trasladadas al laboratorio para su procesamiento y conservación. Primero se lavaron y limpiaron cuidadosamente para eliminar restos de tierra. Luego, se realizó un conteo manual, y los organismos fueron distribuidos en frascos herméticos para su conservación:

Lombrices: conservadas en formaldehído al 4 %.

Resto de la fauna: conservada en alcohol al 70 %.

Cada frasco se etiquetó con la información correspondiente al monolito y profundidad de extracción, asegurando un registro preciso para posteriores análisis.

2.4.3 *Procesamiento de la información de los organismos edáficos*

Una vez en el laboratorio, se realizó la identificación taxonómica de los organismos a nivel de orden y familia. Posteriormente, se clasificaron funcionalmente según los cuatro grupos funcionales: detritívoros, herbívoros, depredadores y omnívoros.

Para obtener imágenes de alta calidad de los organismos, se empleó el estereoscopio MOTIC LED, SMZ-171 TLED junto con el software Motic Images Plus 3.0, permitiendo un registro visual detallado de cada espécimen. Finalmente, los datos fueron organizados en tablas informativas, generando un inventario completo de la macrofauna edáfica del BSTr, el cual servirá de base para el análisis de biodiversidad y composición funcional de la comunidad.

En el análisis exploratorio se incluyeron los estadísticos de posición, dispersión general y por los datos agrupados según T. Para la comparación entre los diferentes grupos de observaciones según momento de muestreo, se empleó una prueba de rangos de Kruskal - Wallis, (kruskal-test; Kassambara, 2021), al no cumplirse supuestos sobre la varianza y la normalidad de los datos, y como prueba post-hoc se empleó el método de Dunn-Bonferroni (Dinno, 2015), para determinar qué grupos difieren entre sí, al ser una prueba más robusta ante las diferencias en el tamaño de la muestra.

2.5 *Análisis estadístico*

2.5.1 *Test Kruskal – Wallis*

El análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis es un método estadístico utilizado en estudios ecológicos para comparar la diversidad biológica entre diferentes

tratamientos o momentos de muestreo, especialmente cuando los datos no cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Núñez-Colín, 2018).

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6 Zonificación del área de estudio

La zona de estudio se ubica en la parroquia Manglaralto, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, península de Santa Elena (Ecuador). El área corresponde a un gradiente costero de bosque seco tropical (BSTr) en etapa de regeneración y mosaicos agrícolas de cultivo de ciclo corto adyacentes. El clima regional se caracteriza por una estación seca marcada y precipitaciones estacionales, condiciones que determinan la estructura y dinámica de la vegetación y de las comunidades edáficas. La importancia del sitio ha sido destacada en estudios locales por su valor socio ecológico y por la atención dedicada a la gestión del agua y del acuífero que alimenta la cuenca de Manglaralto (Orellana, 2022)

Para efectos del muestreo y análisis se realizó una estratificación espacial basada en el Bosque Seco Tropical regenerado (BSTr), definido por parches de vegetación secundaria con estratos arbustivo-arbóreos y cobertura del suelo con hojarasca y raíces expuestas. Esta zonificación permite comparar comunidades de macrofauna edáfica entre un uso de suelo más conservado (BSTr) evaluando la variación interanual. Estudios previos en la península y en Manglaralto emplean una lógica similar para diferenciar parches del bosque, (UNESCO, 2025)

2.6.1 Análisis de la Variación interanual climática en los últimos siete años de la parroquia Manglaralto

Temperaturas

La variación estacional a partir del año 2019 hasta el 2025 muestra que las temperaturas máximas se mantienen relativamente estables entre 30 °C y 33 °C, sin variaciones extremas entre los años. Lo mismo pasa con temperaturas mínimas tienen una ligera tendencia en cuanto a la disminución entre el año 2021 (21 °C promedio) y 2025 (alrededor de 20 °C).

El año más cálido fue el 2024, con máximas temperaturas que alcanzan hasta 33.2 °C en marzo, reflejando una posible intensificación del calor estacional costero. El presente año es el más fresco, con valores máximos menores en los meses de marzo–abril (28.9 °C–30 °C).

Precipitaciones

Se evidencia una alta variabilidad interanual en los diferentes años. En 2021, el régimen de lluvias fue moderado, con un máximo en marzo (180 mm) y un período seco bien definido de junio a noviembre.

En el 2024, se observa un pico muy marcado en febrero de 320 mm, sugiriendo un evento de tipo El Niño débil a moderado, que incrementó la pluviosidad. Y posteriormente en el 2025, nuevamente se registra alta precipitación en enero–marzo, pero extendida y de mayor magnitud total anual, con picos que sobrepasan 350 mm, lo cual podría asociarse a un evento de El Niño más fuerte o a una intensificación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

El régimen climático seco tropical costero clasificado Bs-Aw característico de la zona Manglaralto muestra que, en estos años, el patrón estacional se sigue manteniendo de la siguiente manera:

- Estación lluviosa: enero a abril (máximos en febrero–marzo).
- Estación seca: mayo a diciembre, con precipitaciones <50 mm mensuales.

Esta dinámica climática sugiere que el régimen de lluvias en Manglaralto responde a ciclos de variabilidad oceánico–atmosférica, afectando directamente la humedad edáfica, la disponibilidad de recursos y los procesos ecológicos del suelo. Las fluctuaciones térmicas y pluviométricas condicionan la actividad biológica y la diversidad de la macrofauna edáfica, especialmente durante los periodos de transición entre sequía y humedad, donde se observa mayor reorganización comunitaria y actividad biológica del suelo (Brussaard, 2012).

A continuación, se muestran datos y los climogramas de los últimos años:

Tabla 4. Datos Climáticos de los últimos siete años extraído de NASA POWER Data Access Viewer (DAV).

Año	Mes	ENE	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
2019	Temp. Max	33,48	31,55	31,43	32,1	31,77	33,55	31,73	31,2	30,66	32,05	32,07	31,7
	Temp. Min	25,75	26,17	25,82	25,76	25,57	25,1	24,02	23,39	22,99	23,74	24,5	24,89
	Precipitación	74,49	141,47	138,82	64,42	23,61	10,75	0,57	0,3	0,37	1,44	6,77	20,86
2020	Temp. Max	32,18	32,51	32,43	32,53	32,21	32,96	31,6	31,98	30,2	31,08	30,26	31,13
	Temp. Min	21,83	23,33	22,98	22,18	20,93	20,8	19,28	18,14	19,06	19,76	18,98	20,67
	Precipitación	54,19	108,86	109,65	61,66	4,91	5,02	3,57	0,37	0,65	1,45	2,02	21,49
2021	Temp. Max	30,84	30,51	29,9	31,38	31,47	30,09	31	31,32	31,44	31,37	30,05	31,06
	Temp. Min	21,07	22,33	21,89	21,13	20,66	20,2	19,62	19,46	19,85	19,66	19,5	20,26
	Precipitación	191,42	79,94	224,48	49,65	30,14	39,72	0,35	0,51	6,54	4,36	20,98	40,56
2022	Temp. Max	32,23	30,9	30,3	30,9	30,73	31,27	29,8	31,36	31,92	31,05	31,11	30,85
	Temp. Min	21,34	21,89	22,42	20,97	20,55	19,84	19,34	19,54	18,74	18,44	19,07	20,17
	Precipitación	110,92	63,17	228,31	49,03	9,94	3,75	3,4	0,86	0,43	0,81	0,79	1,95
2023	Temp. Max	32,82	31,4	29,95	30,53	29,97	30,95	31,98	33,63	33,21	33,23	32,02	32,89
	Temp. Min	21,59	22,7	22,96	23,21	22,38	23,14	22,15	21,71	21,83	21,81	21,63	22,35
	Precipitación	24,8	233,07	300,77	384,7	36,32	28,02	33,83	2,18	0,27	6,44	1,7	35,05
2024	Temp. Max	32,62	32,14	31,99	33,21	33,07	31,86	32,15	31,71	31,29	31,04	30,95	31,28
	Temp. Min	23,09	23,34	22,54	23,04	21,87	20,99	19,88	18,66	18,91	20,09	19,74	21,23
	Precipitación	68,32	296,28	51,34	18,5	10,87	9,7	1,87	0,64	1,17	1,32	0,62	33,65
2025	Temp. Max	31,61	32,27	30,08	29,48	28,96	29,87	31,3	31,64				
	Temp. Min	21,93	22,95	22,35	21,58	21,28	19,89	19,49	19,09				
	Precipitación	37,65	395,74	319,27	207,27	9,29	25,17	0,88	0,58				

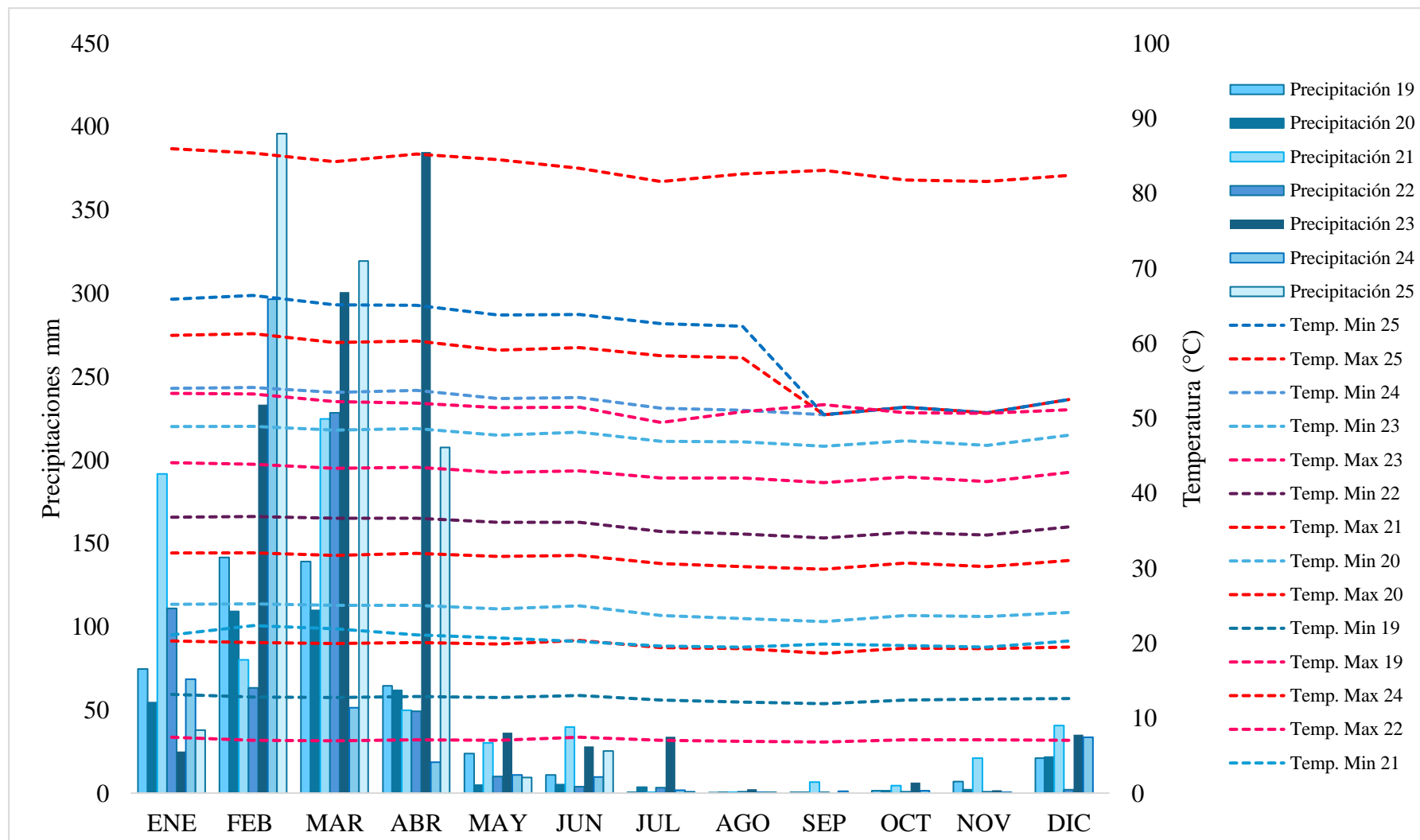


Figura 2. Climatograma general de los siete años extraído de NASA POWER Data Access Viewer (DAV)

En épocas lluviosas los organismos edáficos incrementan la actividad biológica y la materia orgánica en descomposición favoreciendo la actividad microbiana y la disponibilidad de alimentos para la fauna del suelo. No obstante, el exceso de precipitaciones puede generar saturación reduciendo la actividad de los organismos aeróbicos (Morales-Vega *et al.*, 2025).

En contraste, durante la prolongada estación seca, la marcada reducción de la humedad edáfica limita significativamente la actividad biológica del suelo, lo que se traduce en una disminución temporal tanto en la abundancia como en la diversidad de la fauna edáfica. No obstante, este patrón estacional es característico del bosque seco tropical y favorece el desarrollo de estrategias adaptativas de resistencia y resiliencia frente a las condiciones ambientales adversas. La resiliencia de este ecosistema resulta fundamental para mantener su estabilidad funcional y para posibilitar la rápida recuperación de las comunidades edáficas tras los periodos de sequía (Guerra-Martínez *et al.*, 2015).

2.7 Propiedades Físicas y Fisioquímicas del suelo

En la Tabla 3 se observan las características de los suelos en los sitios de muestreo en el momento T3 (agosto) y T4 (septiembre).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de propiedades analíticas del suelo en el sitio Manglaralto tomadas por cada monolito.

Uso	Variable	N	Mediana	Ds	DIQ	Mínimo	Máximo	Q25.25%	Q75.75%
BST	pH	8	6,6	0,52	0,50	5,8	7,6	6,3	6,8
BST	NH4	8	19,5	5,60	2,75	6	25	18,3	21,0
BST	P	8	58,5	28,99	20,50	34	127	51,0	71,5
BST	MO	8	3,3	0,92	0,50	1	4,1	3,0	3,5
BST	RCa_Mg	8	4,4	2,42	0,77	3,56	11,05	4,1	4,9
BST	RMg_K	8	1,2	0,32	0,14	1,01	2,06	1,2	1,3
BST	RCaMg_K	8	6,9	2,88	1,33	5,54	1,49	6,6	7,9
BST	K	8	16,3	5,66	5,26	2,29	17,16	11,5	16,7
BST	Ca	8	30,2	4,19	2,72	20,74	34,55	29,0	31,8
BST	Mg	8	6,7	1,94	1,01	1,25	7,09	5,9	6,9
BST	Suma	8	53,5	10,37	5,56	25	57	49,4	55,0
BST	H	8	1,4	0,45	0,60	0,66	2,01	1,2	1,8
BST	D	8	0,7	0,17	0,14	0,31	0,84	0,6	0,8
BST	S	8	6,0	2,93	5,00	3	11	4,0	9,0
BST	J	8	0,9	0,19	0,24	0,48	1	0,7	1,0
BST	Det	8	152,0	107,42	132,00	16	336	108,0	240,0

BST	Dep	8	56,0	53,41	36,00	16	176	44,0	80,0
BST	Herb	8	8,0	33,05	32,00	0	96	0	32,0
BST	Omn	8	8,0	14,18	20,00	0	32	0	20,0
BST	pH	8	7,4	0,39	0,23	7,1	8,3	7,3	7,5
BST	NH4	8	12,0	4,28	1,75	4	19	12,0	13,8
BST	P	8	35,5	24,00	22,25	20	81	27,8	50,0
BST	MO	8	2,1	0,82	0,45	0,6	3,25	1,9	2,3
BST	RCa_Mg	8	5,3	2,33	1,13	4,02	11,4	5,0	6,4
BST	RMg_K	8	1,1	0,23	0,29	0,77	1,47	0,9	1,2
BST	RCaMg_K	8	7,0	1,22	0,70	6,5	10,26	6,7	7,4
BST	K	8	3,5	0,77	1,02	1,55	3,65	2,5	3,5
BST	Ca	8	20,0	2,81	5,14	14,66	20,97	15,5	20,6
BST	Mg	8	3,5	0,91	0,77	1,28	4,13	3,0	3,8
BST	Suma	8	27,3	4,13	6,29	17,49	28,25	21,2	27,5
BST	H	8	1,0	0,47	0,41	0	1,46	0,9	1,3
BST	D	8	0,6	0,24	0,21	0	0,75	0,5	0,7
BST	S	8	4,0	1,56	1,25	1	5	3,8	5,0
BST	J	8	0,7	0,28	0,14	0	0,9	0,7	0,8
BST	Det	8	432,0	213,97	308,00	48	656	296,0	604,0
BST	Dep	8	40,0	90,08	52,00	0	272	0	52,0
BST	Herb	8	40,0	62,81	88,00	0	160	0	88,0
BST	Omn	8	0	155,35	44,00	0	448	0	44,0

Se llevó a cabo un análisis comparativo entre los dos tiempos del BSTr con las propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo de los monolitos que se muestrearon.

El pH del suelo es una variable fundamental que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana y los procesos de transformación de la materia orgánica. En el bosque seco tropical regenerado analizado, los diferentes momentos presentan valores de pH cercanos a la neutralidad, con medianas entre 7,4 y 7,0. Esta condición neutra es típica de la zona, lo que permite la máxima disponibilidad de elementos como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, indispensables para el desarrollo vegetal y la dinámica de las sucesiones ecológicas (Pozo Quiroz, 2020).

La ligera tendencia hacia la acidez observada en el segundo caso, puede estar asociada a una mayor acumulación de materia orgánica producto del avance de procesos sucesionales, así como al incremento de actividad microbiana que libera ácidos orgánicos durante la descomposición. Además, este rango de pH contribuye a favorecer la proliferación de especies vegetales adaptadas a condiciones intermedias, incrementando la diversidad florística y facilitando la regeneración. Es relevante que las fluctuaciones en el pH pueden afectar la biodisponibilidad de microelementos, aunque en estos suelos regenerados, la

estabilidad observada representa un indicio positivo para la restauración, ya que condiciones extremas de acidez o alcalinidad suelen limitar fuertemente los procesos sucesionales y la funcionalidad ecosistémica (Shang *et al.*, 2021).

Para el análisis de nitrógeno (NH_4), hay una concentración menor en un sitio. Esto sugiere una posible reducción en materia orgánica o un aumento en la asimilación por de la relación organismo suelo del periodo (Kúsmierz *et al.*, 2023).

La diferencia del potasio indica una variabilidad espacial considerable dentro del mismo bosque incluyendo una posible distribución desigual de la materia orgánica en los diferentes sitios y actividad biológica que puede mostrar mayor liberación de K intercambiable tras la descomposición y mineralización (Cornut *et al.*, 2023).

Hay una tendencia de decrecimiento en el Fósforo (P) del suelo, para un bosque seco tropical regenerados, este elemento es un nutriente importante que afecta el establecimiento, crecimiento y supervivencia de las plantas. La disminución del fósforo disponible puede deberse a diversos procesos como la absorción por plantas, la lixiviación, la erosión o la falta de aporte constante a través de la materia orgánica (Mabagala y Mng'ong'o, 2022).

La materia orgánica del suelo constituye el componente primordial para la fertilidad y el funcionamiento ecosistémico en bosques secos tropicales. Los valores medios registrados evidencian un incremento, pasando de 2,1 a 3, lo cual se interpreta como síntoma de acumulación progresiva asociado al avance de la sucesión y al mayor aporte de residuos vegetales. Este aumento resulta crítico para el sistema, ya que la MO mejora la estructura del suelo, incrementa la capacidad de retención de agua y suministros esenciales mediante procesos de mineralización (Machado *et al.*, 2019).

2.8 Determinación de la biodiversidad los organismos edáficos

2.8.1 Total de individuos colectados en el bosque

En la figura 3, se evidencia el número total de individuos colectados mediante seis muestreos (BStr T1 – BStr T6). Este apartado enmarca la variabilidad en la abundancia de los organismos de la macrofauna edáfica encontrados en el bosque seco tropical del centro de Apoyo Manglaralto. El T4 presentó la mayor cantidad con 4832 ind.m⁻², seguido del T1 con 2896 ind.m⁻² y T6 con 2976 ind.m⁻². Los muestreos T3 y T5 mostraron valores intermedios de 2224 y 1840 ind.m⁻² respectivamente, mientras que el T2 registró la menor abundancia con 1696 ind.m⁻².

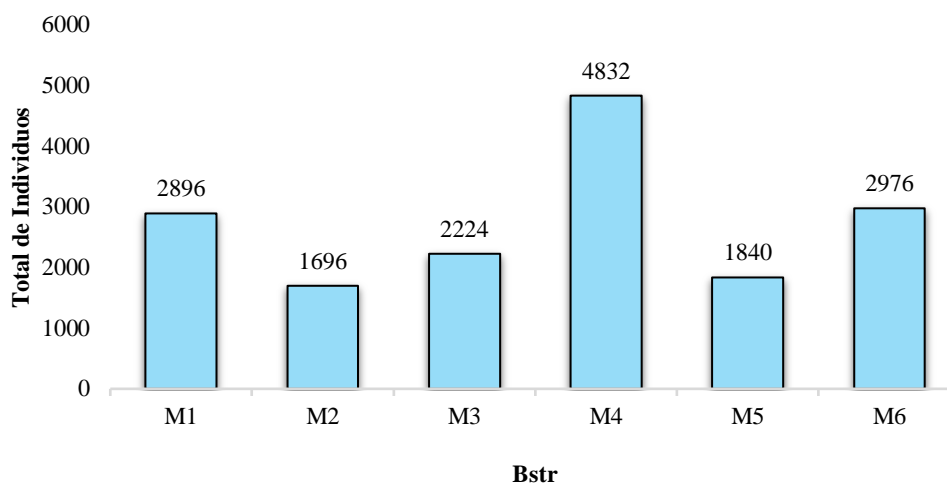


Figura 3. Total de individuos en los muestreos

2.8.2 Familia de organismos edáficos encontrados en el estudio

Durante el periodo de muestreo en el área de estudio se identificaron múltiples familias pertenecientes a la macrofauna del suelo, lo cual permite inferir una estructura funcional variada y activa del ecosistema edáfico. Se encontraron, por ejemplo, representantes de las familias *Glossoscolecidae* y *Lumbricidae* (Oligochaeta), las cuales corresponden a lombrices que actúan como ingenieros del suelo al mezclar materia orgánica y mineral, favoreciendo la agregación y la aireación. Asimismo, se identificaron familias de isópodos como *Porcellionidae* y *Armadillidae*, milpiés de las familias *Spirobolidae* y *Polyzoniidae*, y escolopendras y otros miriápodos de las familias *Geophilidae*, *Himantariidae* y *Lithobiidae*, lo que sugiere una actividad diversificada de procavadores / fragmentadores y depredadores de microhábitats como se ve en la Tabla.

En el grupo de los artrópodos depredadores destacaron familias del orden Araneae (por ejemplo, *Lycosidae*, *Gnaphosidae*, *Theridiidae*), así como de Coleoptera como Elateridae, Staphylinidae y otras familias registradas en el muestreo. Estos grupos depredadores contribuyen al control de poblaciones de otros invertebrados del suelo, lo que favorece una regulación trófica del ecosistema edáfico (Cardoso *et al.*, 2011).

Por otro lado, las familias detritívoras que fragmentan y transforman la materia orgánica se evidencian mediante los registros de Blattodea (familias Blattellidae, Blaberidae), así como la familia Termitidae (Isoptera) y la familia Formicidae (Hymenoptera). Las termitas y hormigas, además de su rol en descomposición y transporte de partículas del suelo,

pueden influir directamente en la formación de canales y turbulencia edáfica, mejorando la porosidad y el intercambio gas-agua en el suelo (Donoso, 2017).

La presencia de estas familias sugiere que el suelo estudiado alberga una comunidad de macrofauna funcionalmente activa, lo cual es característico de ecosistemas en procesos de regeneración o con buena calidad biológica del suelo. Diversas revisiones recientes muestran que la abundancia y diversidad de macrofauna edáfica se asocian positivamente con la calidad del suelo, la cobertura vegetal, el manejo conservacionista y la heterogeneidad del hábitat, (Chamorro-Martínez *et al.*, 2022). En ese sentido, los resultados de este estudio convergen con la literatura al evidenciar que los ingenieros del suelo (lombrices, termitas, isópodos) y los depredadores edáficos desempeñan roles complementarios que favorecen la formación de agregados, la mineralización de materia orgánica y la estabilidad del sistema edáfico.

En resumen, las familias de macrofauna identificadas constituyen un conjunto diversificado que abarca detritívoros, fragmentadores, ingenieros del suelo y depredadores del suelo. Esta diversidad funcional es un buen indicador de que el suelo presenta procesos ecológicos activos, lo cual es favorable para la recuperación del suelo, la fertilidad biológica y la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos.

Tabla 6. Familias de organismos edáficos encontrados en el estudio.

Nombre Común	Familias	Momento de muestreo						Grupo Funcional
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Lombrices	Glossoscolecidae			16	32	16	848	Detritívoros
	Haplotaxida Indeterminada		208		0			
	Lumbricidae				192		64	
Caracoles	Subulinidae							Detritívoros
Cochinillas	Platyarthridae			16	608		96	Detritívoros
	Porcellionidae			336	1920	848	800	
	Porcellionidae lv				352		96	
milpiés	Armadillidae	16						Detritívoros
	Spirobolellidae							
	Polyxenida indeterminada							
Ciempiés	Geophilidae	64	16			48	64	Depredadores
	Himantariidae			16				
	Lithobiidae							
Arañas	Anyphaenidae			16			16	Depredadores
	Araneidae			16	192			
	Lycosidae	80	16	16		96		
	Gnaphosidae	320		112			48	
	Clubionidae		64	16				
	Corinnidae	48	64	96	48	128		
	Oonopidae			16				
Theridiidae								

	Theraphosidae			16				
	Araneae indeterminada			32				
	Linyphiidae				32			
	Elateridae lv			48				Depredadores
Escarabajos	Scarabaeidae larvas	48	48	96	144			
	Scarabaeidae adultos	16		16	32			Herbívoros
	Chrysomelidae	16						
	Staphylinidae	48	48	80				Detritívoros
	Tenebrionidae			32				
	Coleoptera Indeterminada 1		16					
	Coleoptera Indeterminada 2		16					Herbívoros
	Curculionidae lv							
Cucarachas	Blattellidae		32					
	Blaberidae		48	176		32		Detritívoros
	Blattaria indeterminada			16				
	Blattidae	160	48					
	Ballophilidae			32				Depredadores
Mosca	Panorpidae				64			Omnívoros
	Therevidae			16				Depredadores
	Rhyparochromidae	96		16				Herbívoros
Grillos	Gryllidae		32		288	48		Herbívoros
	Cydnidae			32				
Chinches	Aradidae			16				Herbívoros
	Lygaeoidea indeterminada							
	Hemiptera indeterminada							
Hormigas	Formicidae	80	128	64	160	272	192	Depredadores
		768	640	96	496		384	Omnívoros
Polillas	Erebidae	16						Herbívoros
Termitas	Termitidae	1120	272	768	272	432	288	Detritívoros
Total		2896	1696	2224	4832	1840	2976	

2.9 Análisis de los índices de biodiversidad

En el caso de la macrofauna edáfica, este análisis permite determinar si existen diferencias significativas en los índices de diversidad (como Shannon, Simpson, Riqueza e Igualdad) entre distintos sitios o períodos de regeneración del bosque. Su aplicación resulta fundamental para evaluar los efectos de las condiciones ambientales, el uso del suelo o los procesos de sucesión ecológica sobre la estructura y composición de las comunidades edáficas. De esta manera, la prueba de Kruskal-Wallis contribuye a interpretar la dinámica ecológica y la recuperación funcional de los ecosistemas terrestres a partir de indicadores biológicos sensibles como la macrofauna del suelo (Ortega, 2019).

En las siguientes figuras se observan los análisis de los indicadores de diversidad en la macrofauna edáfica evaluados en los seis momentos (T1–T6) evidenciando una dinámica variable a lo largo del tiempo, reflejando las condiciones ecológicas cambiantes del suelo y los procesos sucesionales propios de ecosistemas en recuperación. En general, se observa un incremento progresivo de la diversidad hasta los muestreos intermedios (T3–T4), seguido

de una disminución notoria en T5 y una recuperación parcial en T6, lo que sugiere una respuesta directa de la comunidad edáfica a las variaciones climáticas y microambientales del bosque seco.

Para H (Shannon) presentó valores relativamente bajos en los muestreos iniciales (T1 y T2), lo que indica una comunidad estructuralmente simple con predominio de pocas especies. A partir de T3 y T4, el valor de H' aumentó considerablemente, alcanzando su máximo en T4, lo que refleja una mayor heterogeneidad y equilibrio ecológico. En T5 se registró una fuerte caída, posiblemente asociada a condiciones edáficas de estrés, reducción de la humedad o menor disponibilidad de materia orgánica, mientras que en T6 se observó una recuperación de la diversidad, aunque sin alcanzar los niveles de los muestreos intermedios (González, 2024).

El índice de Simpson (D) mostró un patrón similar, con valores altos en T3–T4 y un descenso marcado en T5, indicando que la dominancia fue más equilibrada durante los períodos intermedios y que pocas especies dominaron la comunidad en T5. Esta correspondencia entre ambos índices sugiere una fuerte relación entre la estabilidad del hábitat y la estructura de la comunidad de macrofauna.

En cuanto a la riqueza específica (S), se evidenció un incremento progresivo desde T1 (cuatro especies) hasta T4 (seis especies), lo cual coincide con una etapa de mayor colonización y estabilidad sucesional. Posteriormente, en T5, la riqueza se redujo drásticamente a dos especies, mientras que en T6 se observó una recuperación parcial (cuatro a cinco especies), lo que indica una recomposición de las comunidades edáficas tras un evento de perturbación temporal (Tomalá, 2025).

El comportamiento del índice de equidad de Pielou (J) refuerza estas tendencias: la comunidad mantuvo una distribución relativamente uniforme de individuos en los primeros cuatro muestreos ($J = 0.67–0.78$), disminuyó bruscamente en T5 (0.45), y volvió a estabilizarse en T6 con valores entre 0.75 y 0.80. Este comportamiento evidencia que las condiciones del suelo durante T5 favorecieron la dominancia de grupos específicos, reduciendo la equidad ecológica, para luego recuperarse con el retorno de condiciones más favorables (Bufebo, Eyasu y Getu, 2021).

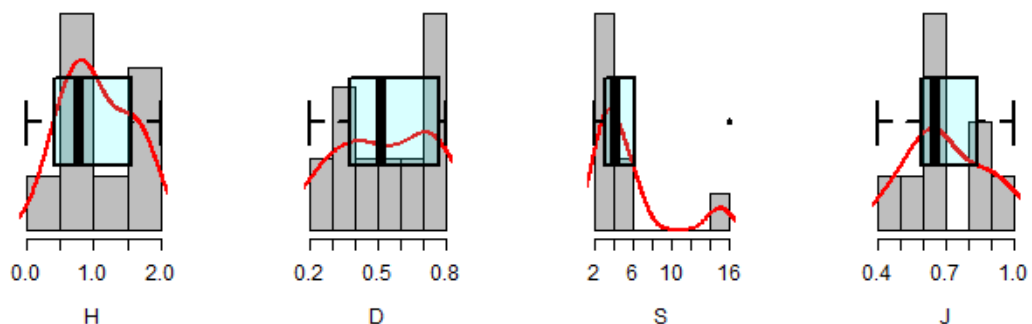
De forma general, los patrones de los indicadores reflejan que el ecosistema edáfico del bosque seco tropical se encuentra en un proceso de regeneración activa, donde la macrofauna responde de manera sensible a los cambios en la humedad, la cobertura vegetal y el aporte de materia orgánica. Los máximos valores de diversidad observados en T3 y T4

probablemente correspondan a períodos con mayor aporte de hojarasca y equilibrio microclimático, mientras que la disminución en T5 estaría asociada a condiciones de sequía o compactación temporal del suelo. Finalmente, la recuperación en T6 sugiere una resiliencia estructural del sistema, característica de ecosistemas tropicales con altos niveles de heterogeneidad funcional.

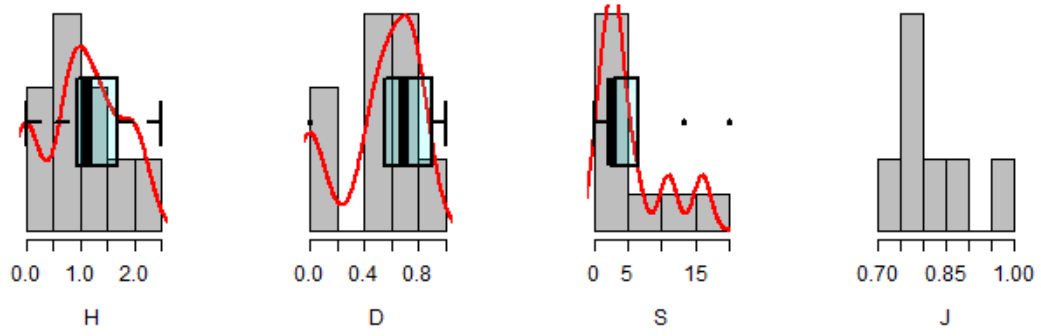
Estos resultados coinciden con lo reportado por Lavelle y Pashanasi (2020), quienes destacan la función de la macrofauna edáfica como bioindicadora de la salud del suelo en ecosistemas tropicales. De igual forma, estudios recientes en bosques secos sudamericanos (Suárez et al., 2022; Peña y Lavelle, 2023) señalan que las fluctuaciones de diversidad están estrechamente relacionadas con la estacionalidad climática y la regeneración del hábitat, confirmando que la composición y equidad de la macrofauna son indicadores sensibles del estado sucesional del suelo.

La fluctuación observada en la diversidad de organismos de la macrofauna edáfica es típica de ecosistemas sometidos a variaciones estacionales o de uso del suelo, como el BSTr. El pico de diversidad más alta en Riqueza y Equidad está en el T3 probablemente coincide con condiciones de humedad y temperatura óptimas que permiten el reclutamiento y la coexistencia de múltiples grupos taxonómicos. Según el estudio de Hernández-Chávez *et al* (2020) explica que los índices de diversidad, como riqueza y equidad, presentan picos en condiciones óptimas de humedad y temperatura que permiten la coexistencia de múltiples grupos taxonómicos, y que la macrofauna responde claramente a las variaciones edafoclimáticas estacionales y la vegetación presente.

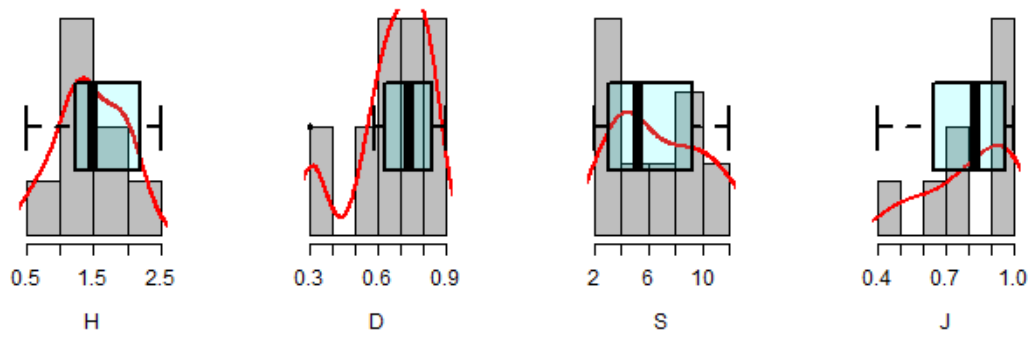
a. BST T1



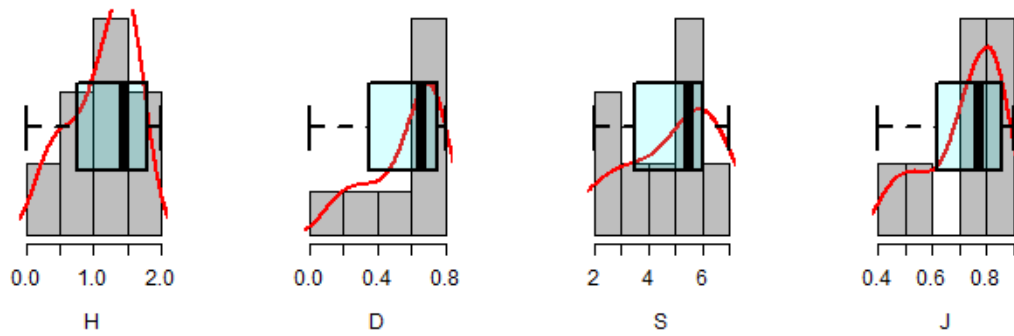
b. BST T2



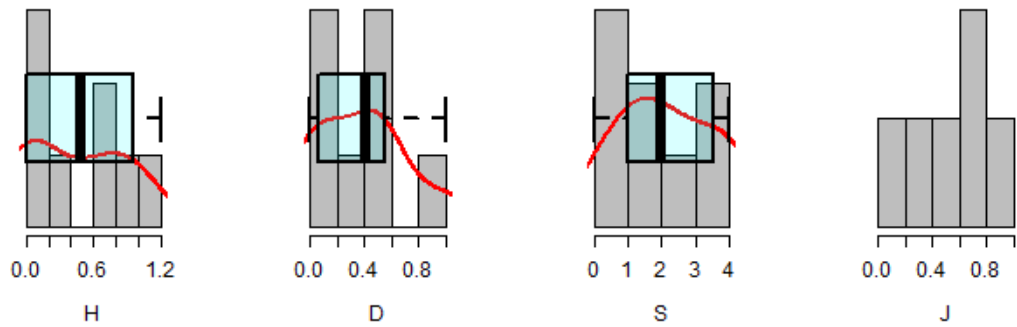
c. BST T3



d. BST T4



e. BST T5



f. BST T6

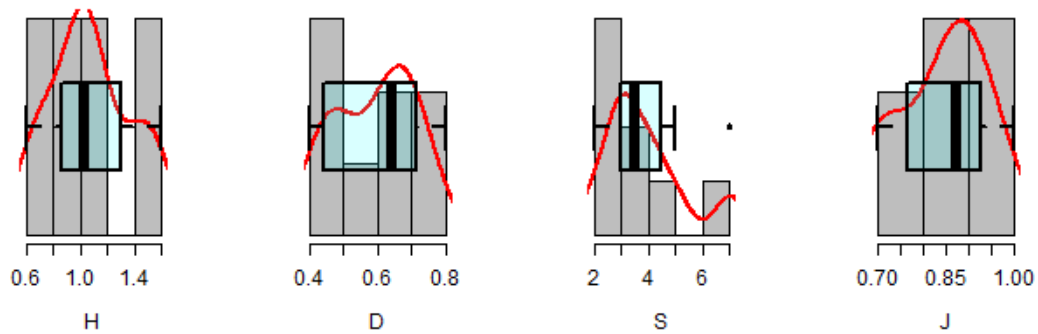


Figura 4. Índices de diversidad de la macrofauna edáfica (H; Índice de Shannon, D; Índice de Simpson, S; Índice Riqueza, J; Índice de Igualdad) para cada muestreo en BSTR (a, b, c, d, e, f).

2.10 Curvas de rango abundancia por muestreo

A continuación, las curvas de rango-abundancia muestran una evolución clara de la estructura de la comunidad de macrofauna edáfica a lo largo de los muestreos (T1 a T6). Durante los primeros muestreos, la pendiente de la curva es más pronunciada y el número de especies con alta abundancia relativamente reducido, lo que indica una alta dominancia de pocos grupos. En los muestreos intermedios (T3-T4) se observa una suavización de la pendiente, reflejando una disminución de la dominancia y un aumento del número de especies con abundancias intermedias. Finalmente, en los muestreos T5 y T6, la curva presenta una mayor extensión horizontal y una pendiente aún más moderada, lo cual sugiere un incremento en la equitatividad de las abundancias entre especies y una comunidad más diversificada.

En el transcurso de esta variabilidad en el BSTR T1 se observa una mayor distribución de los organismos, la comunidad está dominada por unos pocos organismos con abundancias

muy superiores al resto, lo que denota una comunidad poco estructurada y un proceso de recolonización incipiente.

El BSTR T2 aunque persiste dominancia marcada por *Formicidae* (Omnivoros) y *Termitidae*, se aprecia ya un ligero aumento de especies con abundancias menores, lo que sugiere el inicio de diversificación.

Por otro lado, en el T3 la pendiente de la curva se atenúa, lo que indica que las especies dominantes pierden parte de su preeminencia y que otras especies comienzan a ganar presencia relativa como en el caso de *Porcellionidae*, *Blaberidae* entre otras. Mientras el Bstr T4 esta tendencia se consolida, aunque pueden registrarse ligeras fluctuaciones en la abundancia de ciertos grupos dominantes, posiblemente asociadas a perturbaciones puntuales o variaciones estacionales (Rodríguez *et al.*, 2025) .

En T5, la curva es más extendida y uniforme, lo que indica una comunidad con menor dominancia relativa y una distribución más pareja de abundancias entre especies. Finalmente, el T6, se alcanza el estadio de mayor equitatividad observado, con abundancias más homogéneas entre los grupos de organismos lo que sugiere una comunidad con estructura madura y estabilizada (Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012).

Según Brown, Barios y Lavelle (2025) las curvas reflejan una sucesión ecológica avanzada, típica de sistemas regenerados donde las especies dominantes facilitan la reestructuración de la biota del suelo, pero aún persisten desequilibrios entre grupos funcionales. En resumen, las curvas rango-abundancia para los seis muestreos de la macrofauna edáfica del BSTR muestran una marcada tendencia hacia una comunidad más diversa, equitativa y estructurada con el tiempo. Desde un estado inicial dominado por pocas especies (T1-T2), se avanza hacia un estado más equilibrado en T5-T6, lo cual sugiere mejoras en las condiciones del suelo, aumento de la heterogeneidad del hábitat edáfico y una fauna que responde positivamente al proceso de regeneración. Este patrón es congruente con lo reportado en la literatura para ecosistemas tropicales y refuerza la utilidad de las curvas rango-abundancia como herramienta para evaluar la estructura comunitaria y el estado de recuperación de la macrofauna del suelo

Este patrón corresponde con lo que se espera para la regeneración de comunidades edáficas en ecosistemas tropicales: una transición desde una fase inicial de dominio de pocos grupos hasta una estructura más equilibrada y diversa conforme avanza el proceso de sucesión ecológica. Estudios previos sobre macrofauna edáfica en sucesión secundaria en bosques tropicales han registrado patrones similares, donde la dominancia inicial de insectos

sociales u otros grupos agregados disminuye conforme el ecosistema se estructura y diversifica.

La progresiva suavización de la pendiente de las curvas rango-abundancia puede interpretarse como un aumento de la equitatividad (mayor uniformidad en la abundancia entre especies), lo cual es indicativo de una comunidad más estable y funcional en términos ecológicos. Según Food and Agriculture Organization (FAO), la fauna edáfica desempeña roles clave en la descomposición de materia orgánica, formación de agregados del suelo y ciclos de nutrientes; por tanto, una comunidad diversificada y equitativa generalmente está asociada con un suelo con mayor salud y funcionalidad.

En el contexto del bosque seco tropical regenerado (BSTR), los resultados implican que las condiciones del suelo y la cobertura vegetal están mejorando con el tiempo, lo cual permite la expansión de más grupos de macrofauna y reduce la dependencia de taxones dominantes. Esto coincide con meta-análisis recientes que muestran que la diversidad de la fauna del suelo aumenta con la diversidad vegetal y con el avance de la sucesión, lo que sugiere un refuerzo de la retroalimentación entre vegetación, materia orgánica y fauna del suelo (Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012).

Sin embargo, es importante señalar que la dominancia de determinados grupos en etapas tempranas también tiene implicaciones funcionales. En muchos sistemas tropicales, los insectos sociales (por ejemplo: hormigas y termitas) dominan en los primeros estadios de sucesión, ya que su capacidad de colonización y su rol en la ingeniería del suelo les permite establecerse rápidamente.

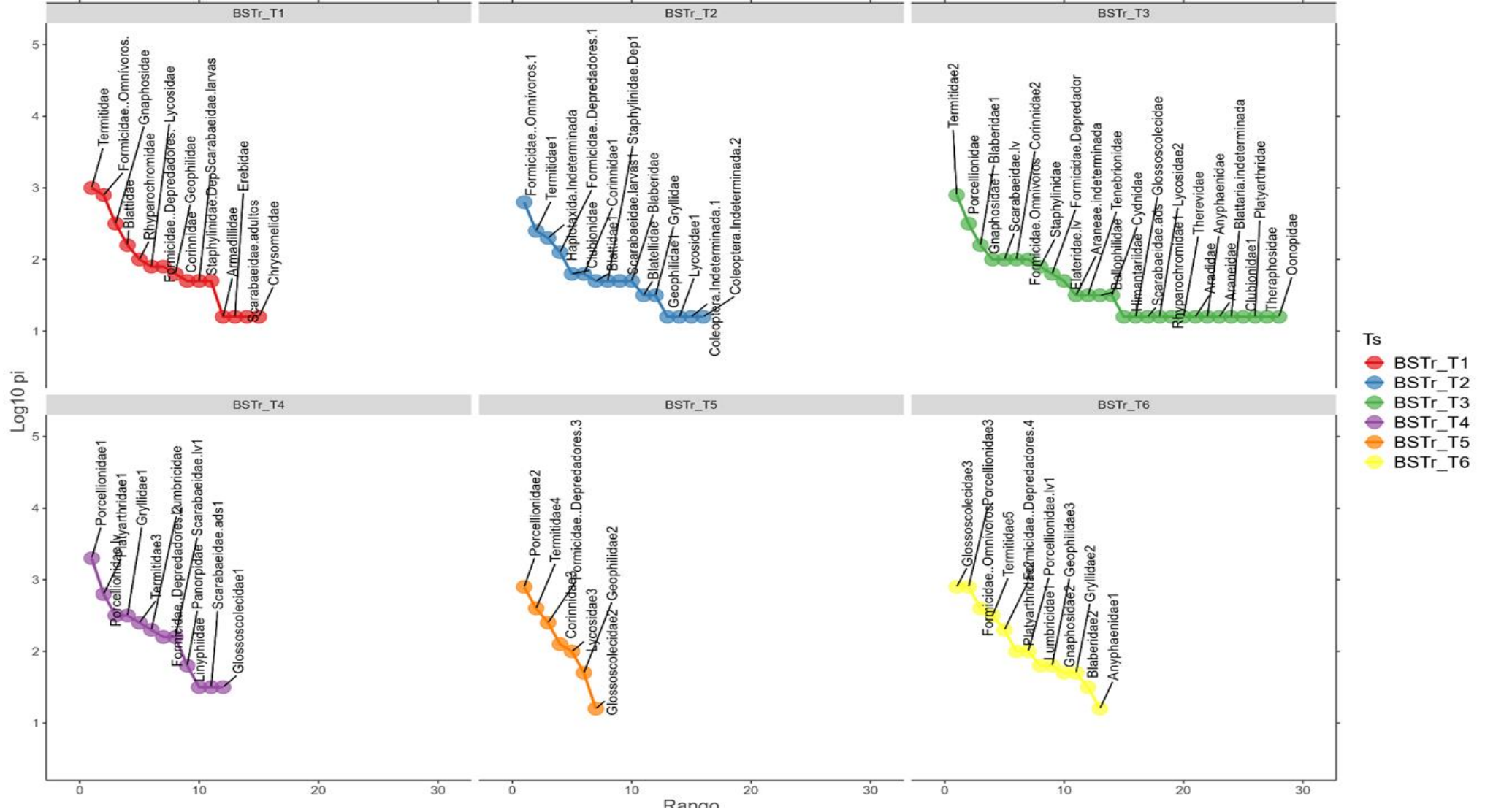


Figura 5. Curvas de rango abundancia para los seis momentos de muestreo

2.11 Grupos funcionales por muestreo

Hay diferencia entre los dos primeros muestreos puesto que en uno se observa una distribución relativamente equilibrada entre los grupos funcionales. Los detritívoros (Det) y herbívoros (Herb) presentan medianas similares, con leves diferencias en la dispersión, los Depredadores (Dep) muestran una densidad ligeramente menor, pero con presencia de valores extremos (*outliers*), lo que indica variabilidad en la abundancia entre puntos de muestreo. Los omnívoros (Omn) mantienen valores intermedios, sin grandes variaciones. En cambio, en T2 denota un aumento en la densidad de omnívoros, con una mediana superior a los demás grupos.

Para T3 se evidencia una disminución generalizada de la densidad en todos los grupos funcionales. Las medianas son bajas ($<100 \text{ ind.m}^2$) y los outliers indican presencia de pocos puntos con altas abundancias.

Este descenso puede estar vinculado a condiciones climáticas más secas o reducción de la materia orgánica disponible, factores frecuentes en los bosques secos tropicales durante períodos de menor precipitación. reflejando un mínimo poblacional estacional, con baja actividad biológica.

En los tres últimos muestreos Se observa una clara dominancia de los detritívoros (Det), cuya caja se eleva notablemente respecto a los demás grupos. Las medianas superan las 300 ind.m^2 , mientras que los otros grupos se mantienen por debajo de 100 ind.m^2 .

En los diagramas de caja y bigotes se aprecia la distribución de la densidad de individuos pertenecientes a los grupos funcionales de la macrofauna edáfica: depredadores (Dep), detritívoros (Det), herbívoros (Herb) y omnívoros (Omn) en los seis momentos de muestreo (T1–T6). De forma general, se observa una mayor variabilidad y amplitud de valores en el grupo de los detritívoros, con varios valores atípicos que reflejan su alta abundancia en algunos monolitos, especialmente en los muestreos T4, T5 y T6.

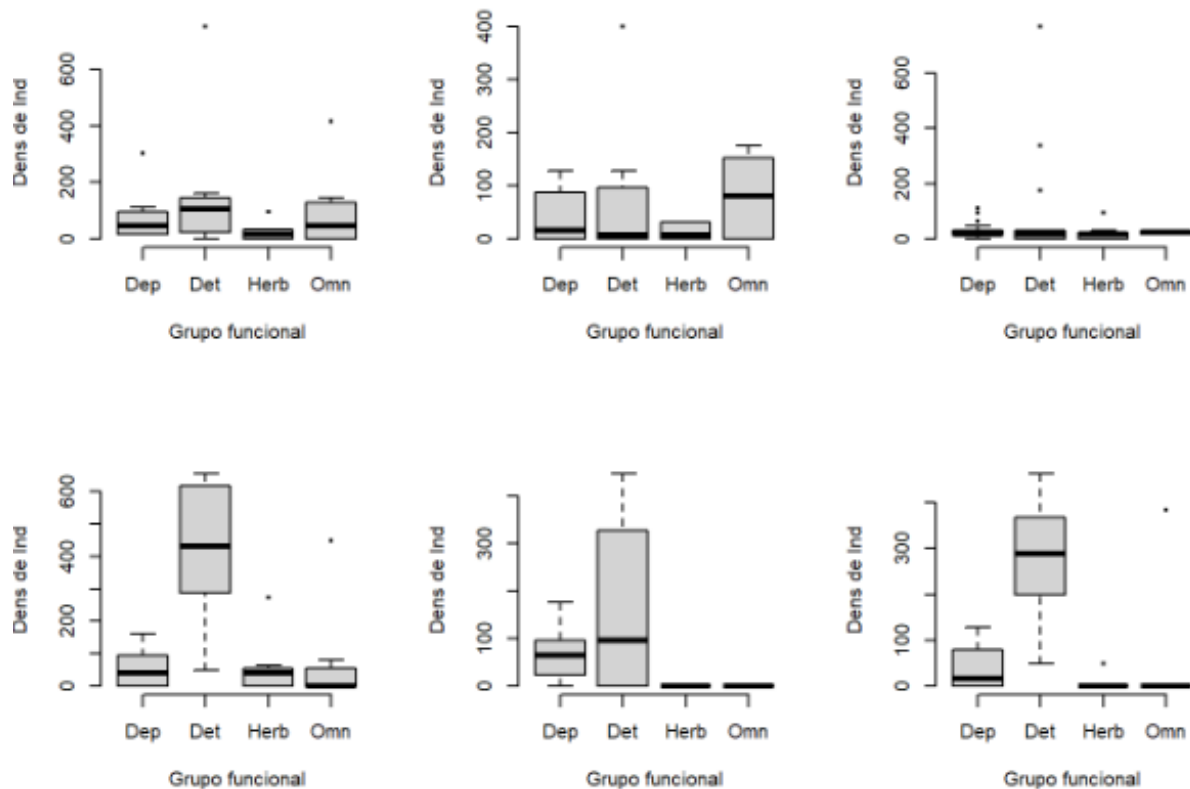


Figura 6. Diagrama de cajas (Box Pot) de la Densidad de individuos por grupos funcionales en cada muestreo.

2.12 Relación Detritívoro/No detritívoro (Det/NoDet)

La relación funcional entre detritívoros y no detritívoros presentó una marcada variación interanual a lo largo de los seis momentos de muestreo (T1–T6). En términos generales, se observa que los detritívoros dominaron en la mayoría de los períodos, con excepción de los dos primeros (T1 y T2), donde los no detritívoros (principalmente omnívoros, depredadores y herbívoros) mostraron mayores densidades.

Durante el primer muestreo (T1), la densidad de no detritívoros ($1600 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$) superó ligeramente a la de detritívoros ($1296 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$), con una relación Det/NoDet de 0,81, lo cual sugiere un suelo con menor proporción de organismos descomponedores, posiblemente influenciado por condiciones climáticas secas o menor disponibilidad de materia orgánica.

En el T2, la proporción se redujo aún más (0,55), destacando un predominio claro de los no detritívoros. Esto se debe a que los organismos fueron recolectados en una época intermedia terminando la sequía e ingresando al período húmedo lo cual causa un impacto en los organismos, puesto que el suelo se está recuperando, la fauna que sobrevivió a las condiciones estresantes en refugios subterráneos comienza a emerger hacia la superficie en

busca de alimento, y la entrada del nuevo período en humedad permite el desarrollo de nuevas colonias, facilitando la actividad biológica del suelo.

A partir del T3, se evidencia un cambio progresivo en la estructura funcional, con un incremento sostenido de detritívoros frente a los no detritívoros, alcanzando una relación de 1,62. Esta tendencia aumenta en T4, donde los detritívoros alcanzan su máximo valor con 3376 ind·m⁻² y la relación funcional aumenta a 2,31, reflejando condiciones edáficas favorables para la descomposición de materia orgánica y la regeneración del bosque seco tropical (Pozo Quiroz, 2020).

En los dos últimos muestreos, T5 y T6, se mantiene el predominio de detritívoros con relaciones de 2,38 y 2,95, respectivamente. Este patrón indica una recuperación ecológica y funcional del suelo, en la cual los detritívoros juegan un papel clave en la mineralización de nutrientes, mejora de la estructura edáfica y estabilidad del ecosistema. Además, su incremento puede estar relacionado con una mayor cobertura vegetal y aporte de hojarasca, factores determinantes en la dinámica trófica del suelo.

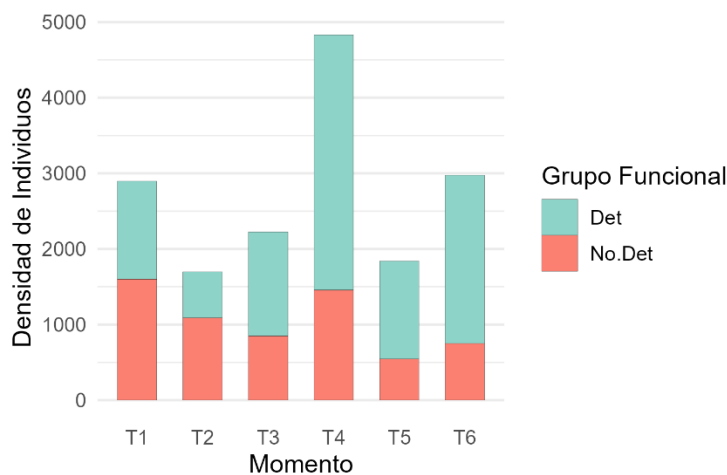


Figura 7. Indicador Detritívoros/No Detritívoros de muestreos realizados.

2.13 Análisis de varianza Kruskal – Wallis

La tabla muestra los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las variables H (Diversidad), S (Riqueza de especies), Det (Detritívoros) y Dep (Depredadores) entre los diferentes momentos de muestreo (T1 a T6). Este análisis evalúa si existen diferencias en las variables climáticas y la diversidad de organismo edáficos. Según estudios de la diversidad y la estructura funcional del suelo los cambios en el aporte de

hojarasca y nutrientes en un bosque seco tropical en función de la estacionalidad de la lluvia refuerza la vinculación entre menor precipitación, menor ingreso de materia orgánica, y por tanto podría relacionarse con disminuciones en fauna edáfica (Pollierer *et al.*, 2021).

Tabla 7. Resultados con diferencias significativas (p -valor < 0.05) en el análisis de varianza Kruskal-Wallis para indicadores faunísticos y de diversidad agrupados por momento de muestreo T. Se muestran los valores de probabilidad p asociados a las correcciones Bonferroni, Holm y BH.

Variable	Chi2	g.l.	p_valor	Bonferroni_p	Holm_p	BH_p
H	13.390	5	0.0200	0.0402	0.0402	0.0402
S	12.991	5	0.0235	0.0625	0.0625	0.0625
Det	15.896	5	0.0071	0.1047	0.1047	0.0894
Dep	22.400	5	0.0004	0.0060	0.0060	0.0060

Difieren marcadamente las variables H (diversidad) y Dep (grupo funcional).

Para H las mayores diferencias se encuentran en T3 y T5 con una mediana relativamente alta. El T3 presenta el rango intercuartílico más alto y una de las medianas más altas (aproximadamente 1.3), indicando consistentemente altos valores de diversidad en este momento. T5 también tiene una mediana alta (cerca a 1.0) y un amplio rango de valores, lo que sugiere una alta y variable diversidad en este punto.

La diversidad (H) que alcanza sus máximos en condiciones de estrés hídrico (T3, seco) y al inicio de la transición hídrica (T5, diciembre) refleja una notable resiliencia del sistema. Esta capacidad de mantener altos niveles de diversidad bajo estrés es característico de los bosques secos tropicales, donde la marcada estacionalidad rige la dinámica y las especies han desarrollado adaptaciones fisiológicas y fenológicas para sobrevivir la estación seca. La resiliencia ecológica, definida como la capacidad de un ecosistema para adaptarse al cambio y preservar la biodiversidad, es clave en estos ambientes. La diversidad funcional y la composición de especies determinan en gran medida esta resiliencia (Guerra-Martínez *et al.*, 2020).

No obstante, esta variable también tuvo un valor más bajo de diversidad en T6 (marzo, pico lluvioso) sugiere que la precipitación extrema puede actuar como un factor limitante. Esto se alinea con hallazgos que indican que eventos de lluvia extrema pueden inducir estrés hídrico en las plantas, alterar el contenido de agua del suelo y modificar el microambiente edáfico, afectando negativamente a la flora y la vegetación. Se espera que regímenes de precipitación más extremos aumenten la severidad del estrés hídrico en

diversos ecosistemas terrestres. La intensificación de sequías y precipitaciones extremas es un impacto esperado del cambio climático que transforma muchos sistemas naturales (Wilks *et al.*, 2013).

Para Dep la diferencia más marcada está en T3 exhibiendo el rango intercuartílico más alto y la mediana más alta (cerca a 40-50), debido a que posteriormente hubo una disminución en los siguientes muestreos. Esto indica que la abundancia de depredadores fue significativamente mayor y con una alta dispersión de datos.

El pico de depredadores (Dep) se centra en T3 (agosto), un mes que pertenece a la época más seca y fresca del año. Esto sugiere que las condiciones de sequía y baja temperatura mínima podrían ser un factor clave que afecta la dinámica de este grupo funcional, posiblemente a través de la concentración de recursos.

La diversidad (H) muestra sus mayores diferencias en T3 (agosto - Seco) y T5 (diciembre - Inicio de Transición). Esto indica que los niveles altos de diversidad se mantienen tanto en condiciones de estrés hídrico como al inicio de la recuperación hídrica, mostrando una mayor resiliencia o variabilidad que el grupo de depredadores. El valor más bajo de H se registra en T6 (marzo - Pico Lluvioso), sugiriendo que la precipitación extrema podría ser un factor limitante para la diversidad.

Los resultados de estos muestreos en relación con los climogramas indican que la comunidad estudiada muestra una alta resiliencia al mantener la diversidad durante la sequía, pero es vulnerable a la precipitación extrema. La dinámica de depredadores parece estar más estrechamente ligada a las condiciones de sequía y temperatura que la diversidad general, lo que sugiere que diferentes grupos funcionales responden de manera asincrónica a las variaciones climáticas estacionales.

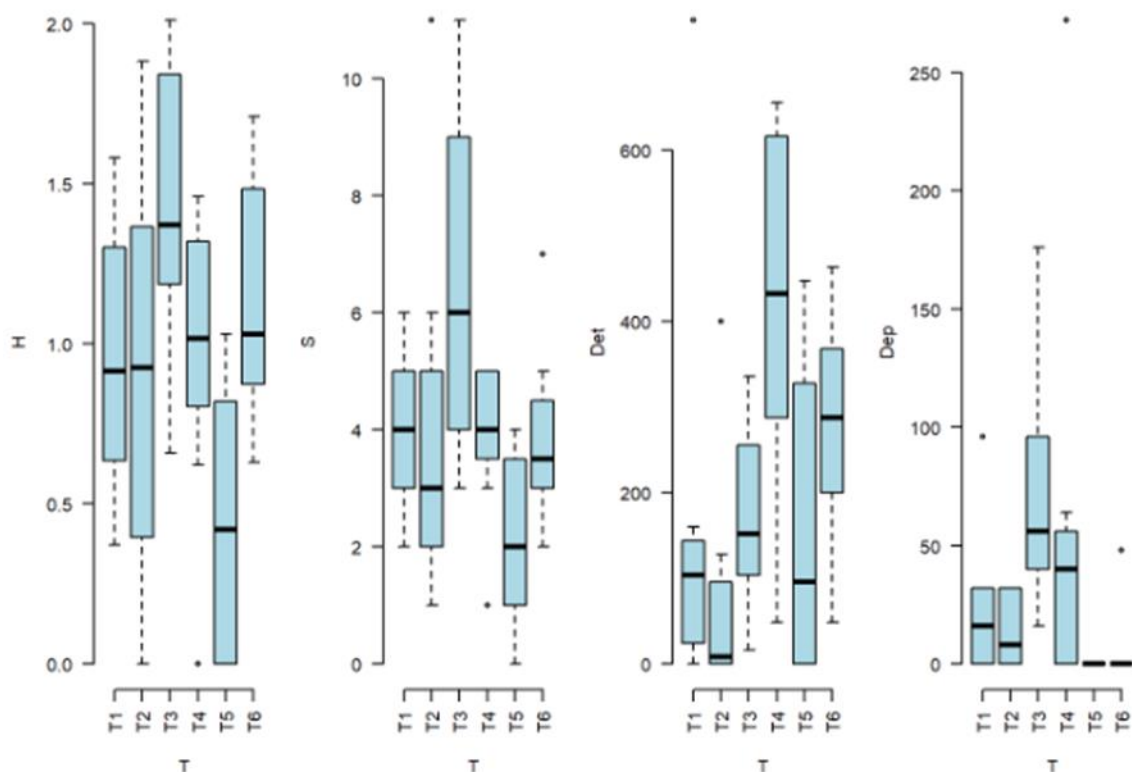


Figura 8. Gráficas Boxplot de variables faunísticas y de diversidad con diferencias significativas (p -valor $<0,05$) según la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para diferentes momentos de muestreo T.

Análisis de indicadores faunísticos y de diversidad agrupados por períodos

Las variables de Diversidad (H), Riqueza (S), Detritívoros (Det), Depredadores (Dep), y la relación Det/NoDet muestran diferencias significativas entre los períodos climáticos. En particular, H, S y Dep son altamente significativos, con valores de p corregidos muy por debajo de 0.05.

En el caso de los Organismo Omnívoros, no hay evidencia suficiente para declarar diferencias significativas en la abundancia debido al p -valor que supera el nivel de significancia de 0,05.

Se considera la relación Det/No Detritívoros que diferencia es débil en comparación con las primeras cuatro variables. Aunque el valor corregido por BH y Holm es 0,0312, se requiere cautela, y al usar la corrección más conservadora.

Estudios en sistemas agroforestales reportan que la máxima diversidad y abundancia de macrofauna se alcanza en momentos de transición de la época seca a la lluviosa o

viceversa, coincidiendo con una mayor disponibilidad de recursos orgánicos. Por ejemplo, los detritívoros predominaron en ambas épocas, pero con mayor abundancia en períodos post-lluvia o inicios de sequía, reflejando la dinámica de recursos tróficos. (Lang-Ovalle *et al.*, 2011).

Tabla 8. Resultados con diferencias significativas (p -valor < 0.05) en el análisis de varianza Kruskal-Wallis para indicadores faunísticos y de diversidad agrupados por período. Se muestran los valores de probabilidad p asociados a las correcciones Bonferroni, Holm y BH.

Variable	Chi2	Df	p_valor	Bonferroni_p	Holm_p	BH_p
H	11.025	3	0.0116	0.0158	0.0158	0.0158
S	10.701	3	0.0135	0.0186	0.0186	0.0186
Det	11.357	3	0.0099	0.0310	0.0310	0.0268
Dep	19.952	3	0.0002	0.0052	0.0052	0.0052
Omn	9.521	3	0.0231	0.0743	0.0743	0.0743
Det_NDet	6.669	3	0.0832	0.0312	0.0312	0.0312

Todas las variables con diferencias significativas en la prueba muestran diferencias significativas concluyentes en las correcciones, excepto Omn. Para IPS y FPLL, las medianas de H se encuentran cerca de 1.3 a 1.4, y las de S cerca de 4.5. Esto sugiere que las condiciones inmediatamente posteriores al pico de lluvias o al inicio de la sequía favorecen la máxima complejidad comunitaria (Pozo, 2024).

En FPS, la mediana de H cae a 0.4, y la de S a 2.0. Esto indica que el estrés prolongado por la sequía reduce drásticamente la diversidad y el número de especies presentes.

Para H y S las mayores diferencias se dan al final del período seco (FPS) por disminución de la biodiversidad. Esto se debe a que la máxima diversidad y riqueza alcanzan sus máximos en IPS (Inicio Seco) y FPLL (Final Lluvioso), con medianas altas y amplios rangos intercuartílicos, lo que indica condiciones estables o de transición que favorecen la coexistencia.

Para los grupos funcionales y la relación Det/NoDet los mayores contrastes se observan al inicio del período lluvioso (IPLL) e inicio del período seco (IPS).

El grupo de Depredadores y Omnívoros alcanzan su máxima abundancia en IPLL (Inicio Lluvioso) e IPS (Inicio Seco). El pico de Dep y Omn en IPLL (con medianas superiores a 20 y 80, respectivamente) probablemente se debe a un aumento de la actividad y la reproducción al inicio de las lluvias (IPLL) o a la concentración de presas durante la

transición de la época seca (IPS). La abundancia de estos grupos cae a valores medianos cercanos a cero en FPLL y FPS, indicando que las condiciones extremas (máxima humedad o máxima sequía) son perjudiciales para estos grupos tróficos (Hernández-Chávez *et al.*, 2020).

Lang-Ovalle *et al.* (2011) encuentra que la actividad de grupos funcionales varía según la estación, con depredadores y omnívoros mostrando picos en los inicios de las lluvias, mientras que otros grupos mantienen abundancias más estables, enfatizando la importancia de elegir época de muestras en función de la dinámica estacional para capturar la complejidad comunitaria.

Los Detritívoros mantienen una abundancia alta en IPS y FPLL (con medianas alrededor de 300-400), reflejando una mayor disponibilidad de materia orgánica en descomposición tras las lluvias o durante el inicio de la sequía. La relación Det/NoDet es más alta en IPS y FPLL, lo que indica que en estos períodos los detritívoros representan una proporción mayor de la macrofauna, lo cual es coherente con la disponibilidad de recurso trófico. Resultados similares fueron observados por Macrofauna edáfica como indicador de calidad del suelo en tres agroecosistemas café, té y pitahaya del cantón Palora, donde se señala que valores de la relación Det/NoDet mayores a 1 reflejan suelos con mayor fertilidad y disponibilidad de materia orgánica (Juanacio *et al.*, 2024).

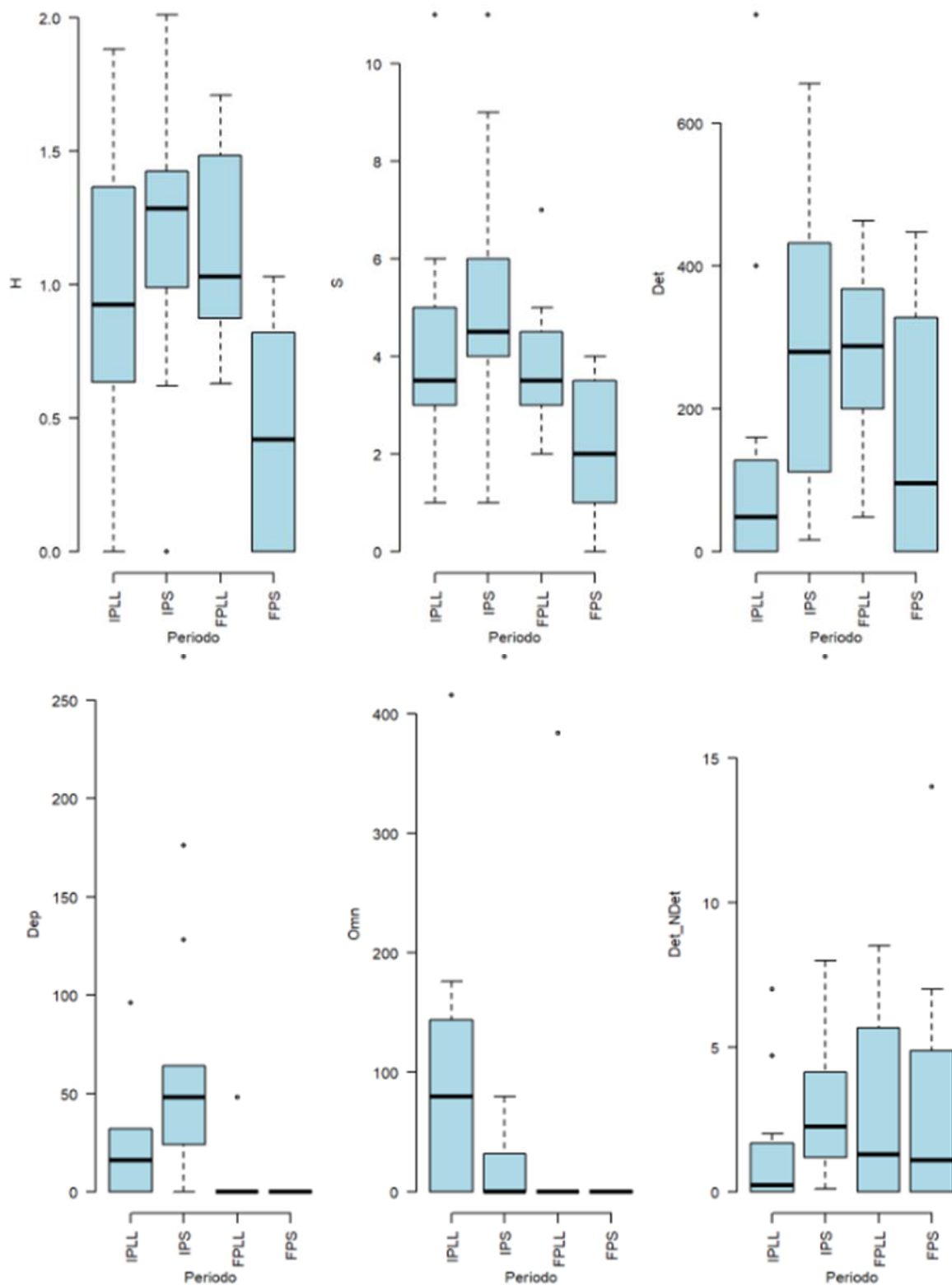


Figura 9. Gráficas Boxplot de variables faunísticas y de diversidad con diferencias significativas (p -valor $<0,05$) según la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para diferentes periodos: inicio del período lluvioso (IPLL), inicio del período seco (IPS), final del período lluvioso (FPLL), final del período seco (FPS).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La macrofauna edáfica identificada revela una comunidad funcionalmente diversa y activa, con ingenieros del suelo (lombrices), detritívoros y depredadores que mantienen procesos de agregación, mineralización y regulación trófica. Estas interacciones facilitan la aireación y la porosidad, favoreciendo la fertilidad biológica y la provisión de servicios ecosistémicos, lo que indica buena calidad biológica y potencial para la recuperación del suelo.
- La macrofauna edáfica del bosque seco tropical en Manglaralto muestra una clara respuesta interanual a las variaciones climáticas, con un patrón de resiliencia observable en la diversidad y abundancia de organismos a lo largo de los períodos IPLL, IPS, FPS y FPLL.

Los detritívoros tienden a dominar durante fases de mayor disponibilidad de hojarasca y humedad moderada, acompañados por una mayor actividad de biodegradación y mineralización. En momentos de menor disponibilidad de recursos y mayor estrés edafoclimático, la proporción de detritívoros suele aumentar como respuesta funcional para mantener el procesamiento y reciclaje de nutrientes.

- Fomentar medidas que mejoren la resiliencia del suelo entre los períodos secos y mitiguen las afectaciones en períodos lluviosos intensos esto resulta esencial para la conservación de la biodiversidad edáfica y mantener los aportes orgánicos. La interacción entre la macrofauna y las condiciones climáticas interanuales revelan la importancia de estos organismos como indicadores de la salud y estabilidad del suelo en ecosistemas tropicales secos, aportando información valiosa para orientar estrategias de conservación y manejo sostenible.

Recomendaciones

- Mantener prácticas de manejo que preserven la hojarasca y eviten la compactación del suelo, priorizando la conservación de lombrices, termitas y hormigas como ingenieros del suelo clave para la regeneración y la fertilidad del BStr.
- Integrar las variables climáticas: incorporar pronósticos climáticos regionales en la planificación de manejo, ya que los picos de precipitaciones o sequías influyen significativamente en la estructura y función de la macrofauna edáfica.
- Fomentar investigaciones futuras que profundicen en la relación entre la biodiversidad del suelo y la funcionalidad del ecosistema en respuesta a impactos antropogénicos y cambios climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aithor (2025) *Protección de los bosques secos tropicales*, aithor.com. Disponible en: <https://aithor.com/essay-examples/proteccion-de-los-bosques-secos-tropicales> (Accedido: 26 de mayo de 2025).
- Almada, M.S. *et al.* (2017) «Diversidad de arañas del suelo y su relación con ambientes heterogéneos del Parque General San Martín, Entre Ríos, Argentina», *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(3), pp. 654-663. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.06.011>.
- Astudillo-Sánchez, E. *et al.* (2019) «Gestión de los bosques tropicales estacionalmente secos de la provincia de Santa Elena, Ecuador: una perspectiva desde la conservación», *Industrial Data*, 22(2). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/816/81662532009/html/> (Accedido: 19 de octubre de 2025).
- Brown, G., Barios, I. y Lavelle, P. (2025) «Regulación de la dinámica de la materia orgánica del suelo y la actividad microbiana en la drilosfera y el papel de las interacciones con otros dominios funcionales edáficos», *ResearchGate* [Preprint]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(00\)01062-1](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(00)01062-1).
- Bufebo, B., Eyasu, E. y Getu, E. (2021) «Abundancia y diversidad de la macrofauna de invertebrados del suelo en diferentes usos de la tierra en la cuenca del Shenkolla, centro-sur de Etiopía», *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 82(1), p. 11. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s41936-021-00206-1>.
- Cabrera Dávila, G. de la C. *et al.* (2018) «Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba», *Bosque (Valdivia)*, 39(3), pp. 363-373. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000300363>.
- Cardoso, P. *et al.* (2011) «Patrones globales de composición de gremios y diversidad funcional de las arañas», *PLOS ONE*, 6(6), p. e21710. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021710>.
- Chamorro-Martínez, Y. *et al.* (2022) «Soil macrofauna, mesofauna and microfauna and their relationship with soil quality in agricultural areas in northern Colombia: ecological implications», *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 46, p. Disponible en: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210132>.
- Cornut, I. *et al.* (2023) «Limitación del potasio en la productividad forestal – Parte 1: Un modelo mecanicista que simula los efectos de la disponibilidad de potasio en los flujos de carbono y agua del dosel en rodales de eucaliptos tropicales», *Biogeosciences*, 20(14), pp. 3093-3117. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/bg-20-3093-2023>.
- Cristina, L.V.N. (2016) «DETERMINACIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN DISTINTOS USOS DE SUELO EN TRES AGROECOSISTEMAS DE LA COMUNIDAD DE NAUBUG».

Domínguez, J., Aira, M. y Gómez-Brandón, M. (2009) «El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes», *Ecosistemas*, 18(2). Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/61> (Accedido: 21 de septiembre de 2025).

Donoso, D. (2017) *Tendencias Recientes En Las Poblaciones De Termitas Y Hormigas En Una Selva De Panamá: Implicaciones Para El Biomonitorio Y Los Sistemas De Alerta Temprana*, Universidad de Cuenca. Disponible en: <https://investigacion.ucuenca.edu.ec/es/projects/tendencias-recientes-en-las-poblaciones-de-termitas-y-hormigas-en-15/> (Accedido: 28 de octubre de 2025).

Espinosa, C.I. *et al.* (2012) «Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación.», *Ecosistemas*, 21(1-2). Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/35> (Accedido: 14 de octubre de 2025).

González, J.D.G. (2024) «CARACTERIZACIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA DEL SUELO COMO BIOINDICADOR EN EL CENTRO DE APOYO RÍO VERDE».

Guerra-Martínez, F. *et al.* (2020) «Evaluación de la resiliencia ecológica de los bosques tropicales secos: una aproximación multiescalar», *Madera y bosques*, 26(3). Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2631983>.

Hernández-Chávez, M.B. *et al.* (2020) «Biodiversidad y abundancia de la macrofauna edáfica en dos sistemas ganaderos en Sancti Spíritus, Cuba», *Pastos y Forrajes*, 43(1), pp. 18-25.

Herrera, S. (2021) «Funcionalidad de la macrofauna superficial y edáfica en subsistemas de la finca agroecológica La Espadilla, San Ramón, Matagalpa, Nicaragua, 2021». Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/4457/1/tnp34h565.pdf>.

Juanacio, L.M.E. *et al.* (2024) «Macrofauna edáfica como indicador de calidad del suelo en tres agroecosistemas café, té y pitahaya del cantón Palora», *Polo del Conocimiento*, 9(7), pp. 3217-3234. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/pc.v9i7.7898>.

Kúsmierz, S. *et al.* (2023) *Soil Organic Carbon and Mineral Nitrogen Contents in Soils as Affected by Their pH, Texture and Fertilization*. Disponible en: https://www.mdpi.com/2073-4395/13/1/267?utm_source=chatgpt.com (Accedido: 24 de octubre de 2025).

Lang-Ovalle, F.P. *et al.* (2011) «MACROFAUNA EDÁFICA ASOCIADA A PLANTACIONES DE MANGO Y CAÑA DE AZÚCAR», *Terra Latinoamericana*, 29(2), pp. 169-177.

Lawrence, M. *et al.* (2020) *Response of soil fauna to simulated global change factors depends on ambient climate conditions | Request PDF*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344356253_Response_of_soil_fauna_to_simulated_global_change_factors_depends_on_ambient_climate_conditions (Accedido: 19 de octubre de 2025).

Mabagala, F.S. y Mng'ong'o, M.E. (2022) «En los suelos tropicales; La influencia de la materia orgánica (MO) en la biodisponibilidad del fosfato», *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), pp. 3635-3641. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.056>.

Machado, D.L. *et al.* (2019) «MATÉRIA ORGÂNICA E FERTILIDADE DO SOLO EM DIFERENTES ESTÁDIOS SUCESSIONAIS DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL». Disponible en: https://agris.fao.org/search/en/providers/122395/records/68514ba753e52c13fc7629ef?utm_source=chatgpt.com (Accedido: 28 de octubre de 2025).

Maciej K, K. (2020) «Índice de diversidad de Shannon: un llamado a reemplazar la fórmula original de Shannon con un estimador imparcial en los estudios de genética de poblaciones». Disponible en: <https://doi.org/10.7717/peerj.9391>.

Martín Carrillo, P. (2025) *Vista de la diversidad de ciempiés y milpiés (artrópodos: miriápodos) en fragmentos de bosque seco tropical del departamento de Bolívar, Colombia*. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rrbt/article/view/546/2941> (Accedido: 6 de octubre de 2025).

Morales-Vega, K.M. *et al.* (2025) «Does Seasonality Influence the α and β -diversity of Soil Fauna? A Case Study of Terrestrial Isopods (Isopoda, Oniscidea) Assemblage in the Colombian Caribbean Tropical Dry Forest», *Zoological Studies*, 64, p. e5. Disponible en: <https://doi.org/10.6620/ZS.2025.64-05>.

Moreira, F.M.S. (2012) *Manual de biología de suelos tropicales*. Instituto Nacional de Ecología.

Núñez-Colín, C.A. (2018) «ANÁLISIS DE VARIANZA NO PARAMÉTRICA: UN PUNTO DE VISTA A FAVOR PARA UTILIZARLA», *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(3), pp. 69-80.

Nuria, R. y Patrik, L. (2008) «SOIL MACROFAUNA FIELD MANUAL». Disponible en: <https://www.fao.org/4/i0211e/i0211e.pdf>.

Orellana, E. (2022) *Reserva de carbono de los suelos en la cuenca Manglaralto, península de Santa Elena*. Disponible en: https://repositorio.upse.edu.ec/items/5ba5c37d-8c98-4c55-b812-f4d49183f2d0?utm_source=chatgpt.com (Accedido: 28 de octubre de 2025).

Ortega, J.P. (2019) *Determinación de la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (Alnus acuminata), acacia (Acacia melanoxylon) y un pastizal convencional como indicador biológico*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Disponible en: <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/779> (Accedido: 28 de octubre de 2025).

Pardo-Reyes, P.S. y Verdezoto, R.P.C. (2023) «Diversidad arbórea y arbustiva del bosque seco tropical colonche – Santa Elena», *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(3), pp. 42-54. Disponible en: <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i3.518>.

Pollierer, M.M. *et al.* (2021) «La diversidad y la estructura funcional de las comunidades animales del suelo sugieren que las redes alimentarias de los animales del suelo pueden

estar protegidas contra los cambios en el uso de las tierras forestales.», *Oecologia*, 196(1), pp. 195-209. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00442-021-04910-1>.

Powers, J.S. (2019) «¿Serán vulnerables los bosques tropicales secos a los cambios climáticos, y cuáles serán sus efectos sociales?», *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(1), pp. 18-23.

Pozo Quiroz, J.A. (2020) «Caracterización de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto de dos usos de la tierra en el centro de apoyo Manglaralto.» Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5534> (Accedido: 26 de octubre de 2025).

Pozo, R. (2024) «CARACTERIZACIÓN DE LA MACROFAUNA COMO BIOINDICADOR DE LA COMUNA DOS MANGAS».

Rodríguez, L. *et al.* (2025) «Macrofauna del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía colombiana», *ResearchGate* [Preprint]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200011>.

Rosa, I.N.D. la y Negrete-Yankelevich, S. (2012) «Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México», *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(1), pp. 201-215.

Sanches, L. *et al.* (2008) «Seasonal and interannual litter dynamics of a tropical semideciduous forest of the southern Amazon Basin, Brazil», *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G4). Disponible en: <https://doi.org/10.1029/2007JG000593>.

Shang, R. *et al.* (2021) «Effects of Soil Properties and Plant Diversity on Soil Microbial Community Composition and Diversity during Secondary Succession», *Forests*, 12(6), p. 805. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/f12060805>.

Socarrás, A. (2013) «Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo», *Pastos y Forrajes*, 36(1), pp. 5-13..

UNESCO (2025) *Manglaralto, nuevo Sitio Demostrativo de Ecohidrología de la UNESCO en*. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/articles/manglaralto-nuevo-sitio-demostrativo-de-ecohidrologia-de-la-unesco-en-ecuador> (Accedido: 20 de octubre de 2025).

Wilks, J. *et al.* (2013) «(PDF)El impacto de las precipitaciones extremas en el crecimiento de las plantas y las relaciones hídricas», en *ResearchGate*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267290096_The_impact_of_extreme_precipitation_on_plant_growth_and_water_relations (Accedido: 24 de octubre de 2025).

Zambrano, A. (2021) *Evaluación de la macrofauna del suelo en plátano en las zona*. Disponible en: <https://redi.cedia.edu.ec/document/229405> (Accedido: 6 de octubre de 2025).

ANEXOS



Figura 1 A. Ubicación de y selección de área experimentada

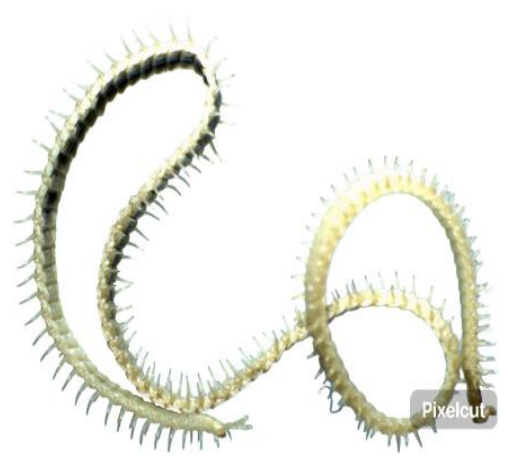


Figura 2A Recolección de muestra de suelo e individuos



Figura 3A. Clasificación de la fauna edáfica

GALERÍA



Familia Himantariidae
Media: Vista dorsal
Última: Vista ventral

Monolito 1, 10-20 cm
Familia Geophilidae



Familia Scarabaeidae Lv



Familia Gnaphosidae



Familia Panorpidae



Familia Araneidae
Indeterminada



Familia Lycosidae



Familia



Familia Oononidae



Familia Lycosidae



Familia Lycosidae



Mon 2, 20-30
Familia Formicidae



Familia: Platyarthradae



Familia: Porcellionidae



Familia: Porcellionidae



Familia: Porcellionidae



Familia: Porcellionidae



Familia: Gryllidae



Familia Lumbricidae

Familia Glossoscoleidae



Familia Blaberidae



Familia Cublionidae



Familia Termitidae