

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
VILLA CORZO

**La fauna edáfica como indicadores de
conservación del suelo en tres tipos de
manejo**

**TESIS PROFESIONAL
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGROFORESTAL**

PRESENTA

Jesus Eduardo Vázquez Gómez

Director

Autoriza para imprimir 12 de Mayo 2025

Dr. Miguel Prado López

CoDirector

Dr. Rubén Martínez Camilo

Villa Corzo, Chiapas; 2025

**LA FAUNA EDÁFICA COMO INDICADORES
DE CONSERVACIÓN DEL SUELO EN TRES
TIPOS DE MANEJO**



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL

DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Villacorzo, Chiapas.
08 de Septiembre de 2025

C. Jesús Eduardo Vázquez Gómez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Agroforestal

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

La fauna edáfica como indicadores de conservación del suelo en tres tipos de manejo

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Miguel Ángel Salas Marina

Dr. Rubén Martínez Camilo

Dr. Miguel Prado López

Firmas:

Ccp. Expediente

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable a lo largo de mi vida. A ustedes, que siempre creyeron en mí, aún en los momentos más difíciles, y me enseñaron que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar los sueños.

A mis amigos y colegas, por acompañarme en este viaje, compartiendo risas, experiencias y enseñanzas. Gracias por su compañía en este camino lleno de desafíos y aprendizaje.

Y a la naturaleza, por recordarme cada día la belleza y complejidad de la vida que nos rodea, inspirándome a seguir explorando, entendiendo y cuidando el mundo en el que vivimos.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis asesores, Dr. Miguel Prado López y Dr. Rubén Martínez Camilo, por su guía, paciencia y sabiduría durante este proceso. Su experiencia y constante apoyo fueron fundamentales para llevar a cabo esta investigación. Gracias por creer en mi capacidad y por brindarme las herramientas para avanzar en este proyecto.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, por brindarme el espacio y los recursos necesarios para el desarrollo de mi investigación. Gracias a los profesores y personal administrativo por su apoyo en todas las etapas de este camino académico.

A mis compañeros de laboratorio, por su colaboración y por ser una fuente constante de motivación e inspiración. El trabajo en equipo y las conversaciones compartidas han sido clave para superar los retos de este proyecto.

A los técnicos de campo y laboratorio, cuyo trabajo incansable hizo posible la recolección y el procesamiento de los datos. Su compromiso fue esencial para la realización de esta tesis.

Agradezco profundamente a mi pareja Deysi Gómez Castillejos y familia, quienes, con su amor y comprensión, fueron mi fortaleza a lo largo de esta etapa. Gracias por su paciencia y por acompañarme en los momentos de cansancio y frustración, así como en los de logro y satisfacción.

Finalmente Expreso mi más sincero agradecimiento al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTI) por el generoso respaldo económico otorgado a través de la beca "Tesis de Licenciatura 2024" este apoyo financiero fue esencial para la realización de la investigación y la consecución de esta tesis y refleja el compromiso de la institución con la formación e investigación académica en nuestro estado.

A todos ustedes, ¡gracias!

Índice	
Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
1.1 Fauna edáfica	3
1.1.1 Clasificación por tamaño	4
1.1.2 Grupos funcionales por su movilidad	5
1.1.3 Grupos funcionales por el tipo de alimento	7
1.1.4 Importancia económica	9
1.1.5 Importancia ecológica: Indicadores de la salud del suelo	10
1.2 Disturbios antropogénicos y fauna del suelo	12
1.3 Hipótesis del disturbio medio y su relación con la fauna del suelo	16
2. Objetivo general:	18
2.1 Objetivos específicos:	18
3. Hipótesis:	18
4. Metodología	19
4.2 Sitio de estudio	19
4.2 Colecta e identificación de organismos	21
4.3 Análisis estadísticos	23

5.	Resultados y discusión	23
5.1	Abundancia general de la fauna del suelo	23
5.1.1	Abundancia por gremios tróficos por sitio.....	27
5.1.2	Efecto de la estacionalidad sobre la abundancia de gremios tróficos por sitio 29	
5.1.3	Efectos de la estacionalidad en la abundancia de gremios tróficos	37
5.1.4	Bosque.....	37
5.1.5	SAF	38
5.1.6	Pastizal	39
5.2	Variación de la riqueza a nivel de Orden	43
6.	Conclusiones	49
7.	Bibliografía	50
8.	Anexos	55

Resumen

En este estudio se evaluaron los cambios en la composición de la comunidad de la edafofauna asociados a tres tipos de uso de suelo: bosque, pastizal y sistema agroforestal en Suchiapa, Chiapas. Se realizaron cuatro muestreos estacionales (enero, abril, junio y agosto) en donde se recolectaron organismos edáficos con trampas de caída (pitfall) y monolitos. Los organismos del suelo se identificaron hasta el nivel de orden. Se realizaron análisis de varianza para determinar las diferencias en la abundancia y diversidad entre tipo de uso de suelo y gremios tróficos (detritívoros, herbívoros, depredadores y nectarívoros) y su relación con la estacionalidad y el manejo del suelo. Los resultados indican que la abundancia y diversidad de la edafofauna varían significativamente entre los sitios, siendo el SAF el que presentó la mayor abundancia y riqueza de órdenes, seguido del bosque y el pastizal. Los resultados sugieren que el SAF presente una mayor heterogeneidad ambiental y de hábitats en comparación con los otros usos de suelo, promoviendo una mayor abundancia y riqueza de organismos del suelo. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la composición de gremios tróficos, especialmente los herbívoros, que fueron más abundantes en el SAF durante el mes de agosto, probablemente debido a la mayor disponibilidad de recursos vegetales. Este estudio resalta la importancia del manejo del suelo en la estructuración de las comunidades de la fauna del suelo, destacando el papel de los sistemas agroforestales en la conservación de la biodiversidad edáfica.

Abstract

In this study, changes in the composition of the soil fauna community (edaphofauna) associated with three types of land use—forest, grassland, and agroforestry system (SAF)—were evaluated in the "El Brasil" property, located in Suchiapa, Chiapas. Four seasonal samplings (January, April, June, and August) were conducted, where soil organisms were collected using pitfall traps and monoliths. The soil organisms were identified at the order level. Analysis of variance was performed to determine differences in abundance among land use types and trophic guilds (detritivores, herbivores, predators, and nectarivores) and their relationship with seasonality and soil management.

The results indicated that the abundance and diversity of edaphofauna varied significantly among the sites, with SAF presenting the highest abundance and order richness, followed by the forest and grassland. The results suggest that the agroforestry system (SAF) presents greater environmental and habitat heterogeneity compared to the other land uses, promoting higher abundance and richness of soil organisms. The analysis of variance showed significant differences in the composition of trophic guilds, particularly herbivores, which were more abundant in SAF during August, probably due to the greater availability of plant resources. This study highlights the importance of soil management in structuring soil fauna communities, emphasizing the role of agroforestry systems in the conservation of edaphic biodiversity.

1. Introducción

1.1 Fauna edáfica

La fauna edáfica comprende una amplia diversidad de organismos que habitan y desarrollan sus funciones vitales en y sobre el suelo. Estos organismos pueden pasar la totalidad o parte de su ciclo de vida dentro del suelo o en la superficie inmediata de éste, en la capa de hojarasca que cubre la parte superior, o incluso en los troncos caídos que se encuentran en diferentes etapas de descomposición. Estos organismos pueden incluir una amplia variedad de microorganismos, como bacterias y hongos, así como organismos más grandes como lombrices, insectos, arácnidos y otros invertebrados (Cabrera, 2019). La fauna del suelo desempeña un papel crucial en la descomposición de la materia orgánica, la circulación de nutrientes, la formación y estabilización de la estructura del suelo y, en general, en la salud y fertilidad de los ecosistemas terrestres (Stella et al., 2010). En las fases iniciales del proceso de descomposición de la materia orgánica, la meso y macrofauna desempeñan un papel fundamental como reguladores bióticos. Su actividad genera cambios químicos en los compuestos de la hojarasca, lo que facilita la lixiviación y movilización de nutrientes diversos, además de incrementar la superficie disponible para las actividades bacterianas y fúngicas (Martínez-Falcón et al., 2015). Algunos de estos organismos pueden ser indicadores de la calidad del suelo y del estado de un ecosistema en particular.

1.1.1 Clasificación por tamaño

La clasificación de la fauna del suelo según su tamaño facilita la organización de los organismos en categorías manejables, además, ofrece una visión más profunda sobre los roles ecológicos que desempeñan dentro del ecosistema del suelo. A diferencia de un enfoque que solo se centra en la diversidad basada en la riqueza y abundancia de especies, esta clasificación permite entender cómo diferentes tamaños de organismos contribuyen a procesos como la descomposición, la mineralización de nutrientes y la formación de la estructura del suelo (Herrera & Cuevas, 2011). Al estudiar la fauna del suelo desde esta perspectiva, es posible identificar patrones de interacción y funcionalidad que no serían evidentes si solo se contaran las especies, lo que proporciona una comprensión más integral de los ecosistemas del suelo y su salud.

La microfauna incluye a los invertebrados más pequeños (con un ancho del cuerpo < 0.2 mm), fundamentalmente nematodos y la mayoría de los ácaros, que ingieren microorganismos o metabolitos microbianos o forman parte de redes tróficas de micro depredadores (Domínguez et al., 2009). La mesofauna comprende los invertebrados de tamaño medio (ancho del cuerpo entre 0.2 y 10 mm), es un grupo muy diverso taxonómicamente ya que incluye a los anélidos, insectos, crustáceos, miriápodos, arácnidos y otros artrópodos. Este grupo funcionan como transformadores de la hojarasca e ingieren una mezcla de materia orgánica y microorganismos. Además, generan una cantidad significativa de heces, las cuales experimentarán un intenso proceso de descomposición microbiana favorecido por las condiciones óptimas de humedad y el mezclado que ocurre durante su tránsito por el intestino (Sánchez & Reinés, 2001).

Finalmente, la macrofauna del suelo se compone de organismos más grandes (ancho corporal > 1 cm), visibles a simple vista como lombrices de tierra, insectos como escarabajos y hormigas, así como moluscos como los caracoles. La macrofauna desempeña un papel clave en la formación y estructuración del suelo, ya que excavan galerías y mezclan el sustrato del suelo (Cabrera, 2019).

1.1.2 Grupos funcionales por su movilidad

La clasificación de la fauna del suelo, según sus grupos funcionales basados en su movilidad, es una forma de categorizar a los organismos del suelo en función de cómo se desplazan y de cómo interactúan con su entorno (Stella et al., 2010). Esta clasificación separa a la fauna del suelo en organismos epígeos, anécicos y endógeos (Cabrera, 2019). Permite, además, explicar cómo los diferentes organismos del suelo interactúan con su entorno y desempeñan roles específicos en los ciclos biogeoquímicos y la salud del suelo. Cada grupo funcional tiene un conjunto único de adaptaciones y comportamientos que influyen en la dinámica de los ecosistemas terrestres (Cabrera et al., 2011).

La macrofauna epigea vive y se alimenta de la hojarasca y esencialmente son diplópodos, quilópodos, isópodos, larvas de coleópteros. Siendo el tipo de edafofauna más susceptible a los cambios edafoclimáticos, su función principal es la fragmentación de la hojarasca y promover su descomposición (Cabrera & Crespo, 2001).

Los organismos anécicos residen en galerías subterráneas y se alimentan de la hojarasca presente en la superficie del suelo, la cual transportan hacia sus galerías. Esta actividad contribuye significativamente a la modificación de la estructura del suelo al establecer redes semipermanentes de túneles, promoviendo así la oxigenación del suelo y facilitando

la infiltración del agua. Este grupo está constituido por las grandes lombrices y termitas. Por medio de la traslocación de la hojarasca a estratos más profundos, estos organismos provocan cambios en la dinámica de descomposición de la materia orgánica e influyen en el ciclo del carbono y otros nutrientes muy importantes (Cabrera, 2019).

Los endógeos viven a mayor profundidad en el perfil del suelo y se alimentan principalmente de suelo mezclado con materia orgánica en descomposición, como raíces muertas, microorganismos y compuestos húmicos. Estos organismos tienen poca pigmentación y son muy buenos construyendo sistemas de galerías horizontales muy ramificadas, las cuales llenan con sus propias deyecciones mientras se mueven por el horizonte orgánico-mineral del suelo (Cabrera & Crespo, 2001). Se observa una distinción notable entre las lombrices epigeas y las especies endógeas. Las lombrices endógeas exhiben tasas de reproducción más moderadas y ciclos de vida prolongados en comparación con sus contrapartes epigeas. Esta característica particular las dota de una mayor resistencia frente a períodos de escasez de alimento. Al tener una reproducción más lenta y períodos de vida extendidos, las lombrices endógeas pueden adaptarse mejor a condiciones ambientales desfavorables, manteniendo poblaciones estables incluso en entornos con recursos limitados. Esta capacidad de resistencia a la escasez de alimento es crucial para su papel en los ecosistemas, ya que les permite mantener su función de reciclaje de nutrientes y mantener la salud del suelo incluso en condiciones adversas (Domínguez et al., 2009).

Todos estos organismos pueden ser llamados ingenieros del ecosistema, ya que tienen un impacto específico e importante en el interior del suelo a partir de la transformación de

sus propiedades físicas, que favorecen la formación de agregados y estructura, el movimiento y la retención de agua, así como el intercambio gaseoso (Cabrera et al., 2011).

La diversidad de roles que desempeñan los distintos grupos funcionales dentro de la macrofauna edáfica, tales como los ingenieros del suelo, los detritívoros, los herbívoros y los depredadores, resulta fundamental para regular los procesos edáficos y mantener el equilibrio funcional del ecosistema. Estas actividades incluyen la mejora de la estructura del suelo, la descomposición de materia orgánica, la regulación de poblaciones vegetales y la estabilización de cadenas tróficas, contribuyendo así a la salud y la productividad del entorno ambiental (Stella et al., 2010).

1.1.3 Grupos funcionales por el tipo de alimento

La fauna del suelo ocupa diversos niveles tróficos, lo que significa que su dieta varía significativamente. Algunos se alimentan principalmente de microbios, conocidos como microbívoros. Otros se especializan en consumir materia orgánica en descomposición, denominados detritívoros. También existen aquellos que se nutren de una combinación de materia orgánica y microbios, siendo conocidos como microbi-detritívoros. Por otro lado, algunos son carnívoros, mientras que otros tienen la capacidad de ocupar múltiples niveles tróficos, adaptándose a diferentes fuentes de alimento según las condiciones del entorno (Domínguez et al., 2009).

La clasificación de la fauna del suelo según su grupo funcional, basada en el tipo de alimentación, proporciona una comprensión detallada de cómo los organismos del suelo obtienen su nutrición y cómo contribuyen a los procesos ecológicos del suelo. Este enfoque divide a los organismos en categorías como herbívoros, que consumen material

vegetal; detritívoros, que se alimentan de materia orgánica en descomposición; y depredadores, que cazan otros organismos menores. Además, hay organismos especializados como los microbívoros, que digieren microorganismos. Esta clasificación no solo ayuda a entender las dinámicas alimenticias del suelo, sino que también es fundamental para estudiar el flujo de energía y nutrientes a través de los ecosistemas terrestres, impactando directamente en la fertilidad del suelo y la productividad agrícola (Berude et al., 2015).

Los detritívoros, como los milpiés (Spirobolida y Polydemida), cochinillas (Isopoda) y caracoles (Archaeogastropoda), tienen una función a nivel de la superficie del suelo como organismos epigeos, ya que su fuente de alimento es la hojarasca. Por lo que estos grupos ayudan en la fragmentación del material foliar y dan inicio al proceso de descomposición, aumentando de esta forma la superficie de exposición para el ataque de la microflora (Cabrera, 2012).

Los herbívoros incluyen algunas familias de coleópteros (Coleoptera), hemípteros (Hemíptera), y otros ordenes de insectos que se alimentan de materia vegetal viva, como las raíces y las partes subterráneas de las plantas. Estos organismos pueden afectar la salud de las plantas al dañar sus sistemas radiculares (Cabrera et al., 2011)

Los depredadores, incluyen principalmente a los arácnidos (Araneae, Opiliones, Pseudoscorpionida) y ciempiés (Geophilomorpha, Scolopendromorpha), estos intervienen a otros niveles de la cadena trófica al consumir material vegetal y animal vivo, respectivamente lo que origina la riqueza y calidad de estos materiales en el suelo (Cabrera et al., 2011).

De acuerdo con lo planteado por Zerbino *et al.* (2008), las interacciones entre los distintos grupos funcionales de la fauna del suelo se ven influenciadas por la disponibilidad de recursos en los diversos tipos de uso del suelo. Estos grupos funcionales, definidos por sus preferencias alimenticias, reflejan una variedad de estrategias y adaptaciones que la fauna del suelo ha desarrollado para sobrevivir en su entorno subterráneo.

Cada grupo funcional de la fauna del suelo desempeña un papel crucial en los ciclos biogeoquímicos, contribuyendo significativamente a la transformación y movilización de nutrientes esenciales. Estos organismos facilitan procesos como la descomposición de materia orgánica y la mineralización del suelo. Además, influyen en la estructura y la porosidad del suelo, lo cual es fundamental para la regulación del agua y el aire dentro del suelo. Por lo tanto, su presencia y actividad son indispensables para mantener la salud y la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres (Cabrera, 2019).

1.1.4 Importancia económica

La fauna edáfica desempeña un papel fundamental en la economía agrícola al contribuir significativamente a la fertilidad del suelo y la producción de alimentos (J. Castro Lopez, 2017). Estos organismos, son clave en la descomposición de la materia orgánica, liberando nutrientes esenciales que benefician el crecimiento de los cultivos, mejoran la estructura del suelo, facilitan la retención de agua y nutrientes, reduciendo así la necesidad de fertilizantes y mejorando la resistencia a la erosión. Además, su función en el control biológico de plagas agrícolas minimiza la dependencia de pesticidas químicos, generando ahorros económicos y promoviendo sistemas agrícolas más sostenibles y rentables a largo plazo (Matienzo Brito *et al.*, 2015).

Los organismos del suelo actúan como agentes para el secuestro del carbono en el suelo, modificando la estructura física del suelo y el almacenamiento de agua, aumentando la cantidad y disponibilidad de nutrientes y aumentando la salud de la planta. Estos servicios no solo son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un recurso muy importante para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas (Matienzo Brito et al., 2015). La fauna del suelo desempeña un papel esencial en la producción de alimentos, la salud del suelo y la sostenibilidad agrícola, lo que tiene un impacto directo en la economía al reducir costos y aumentar la productividad de las explotaciones agrícolas y forestales. Además, contribuye a la conservación de la biodiversidad y al funcionamiento saludable de los ecosistemas terrestres en general (Escobar Montenegro et al., 2017).

1.1.5 Importancia ecológica: Indicadores de la salud del suelo

La fauna del suelo juega un papel crucial en los ecosistemas terrestres, desempeñando funciones fundamentales en los procesos que afectan la conservación y fertilidad del suelo. Esta comunidad animal regula la disponibilidad de minerales esenciales para las plantas, promueve la formación de una estructura sólida en el suelo y ejerce una influencia significativa en las condiciones de vida, abundancia y composición de las comunidades edáficas. Su importancia ecológica es innegable, ya que contribuye a la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas mediante la mejora de la calidad del suelo, el ciclo de nutrientes y la biodiversidad local (Escobar Montenegro et al., 2017). Algunos de estos organismos son considerados bioindicadores, que pueden producir respuestas biológicas que indican los efectos de los contaminantes sobre sí mismos en poblaciones, comunidades y ecosistemas (Cabrera, 2019).

Los indicadores biológicos son herramientas esenciales y altamente relevantes para evaluar la calidad y salud del suelo. Entre los posibles bioindicadores se incluye el monitoreo de las poblaciones de ácaros y colémbolos, que son parte integral de la mesofauna del suelo. Estos organismos han sido ampliamente empleados en la evaluación de la calidad del suelo debido a su capacidad para ofrecer respuestas rápidas ante cambios ambientales. Esta capacidad de adaptación a las condiciones del entorno es una cualidad distintiva que los diferencia de los indicadores químicos o físicos, cuya respuesta es menos dinámica y sensible a las variaciones ambientales. (Gordillo Ruiz et al., 2020). La fauna edáfica nos permite evaluar no solo la calidad del suelo, sino también el funcionamiento del propio sistema de producción, ya que está estrechamente asociado con los procesos de descomposición y ciclos de nutrientes en la interfaz suelo – planta (Berude et al., 2015). Por ejemplo, los ácaros y colémbolos influyen directamente en la fertilidad del suelo estimulando la actividad microbiana, inhibiendo hongos y bacterias que causan enfermedades y transportando materia orgánica en descomposición a niveles más profundos del perfil del suelo (Berude et al., 2015).

La actividad de la fauna del suelo, como las lombrices de tierra y otros excavadores, mejora la estructura del suelo al airearlo y mezclar sus componentes. Esto influye en la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, así como en la formación de hábitats adecuados para las raíces de las plantas y otros organismos del suelo.

Algunos organismos del suelo, como los nematodos depredadores y ciertos hongos, desempeñan un papel crucial en el control biológico de poblaciones de insectos y patógenos perjudiciales para las plantas. Esta acción contribuye significativamente a preservar el equilibrio natural de los ecosistemas y a mitigar brotes de plagas y

enfermedades que podrían afectar a los cultivos (Baldovino Sanjuán et al., 2022). La diversidad de organismos del suelo contribuye a la biodiversidad global de un ecosistema. Cada especie de fauna del suelo tiene su propio papel en la cadena alimentaria y en los ciclos biogeoquímicos, lo que contribuye a la resiliencia y estabilidad del ecosistema.

1.2 Disturbios antropogénicos y fauna del suelo

Los disturbios pueden clasificarse en dos categorías: naturales y antropogénicos. Los disturbios naturales abarcan eventos naturales, algunos ocurren de manera drástica, como los terremotos, huracanes, incendios forestales y otros fenómenos, que representan la respuesta inherente de la naturaleza como parte del funcionamiento del planeta Tierra (Rada et al., 2007).

Las actividades antropogénicas, tales como la deforestación, la urbanización y la contaminación, han causado la reducción drástica y la extinción de especies en numerosos hábitats alrededor del mundo (Zaragoza Álvarez et al., 2016). Además, este proceso ha comprometido seriamente la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios ambientales esenciales, como la capacidad de infiltración de agua, polinización de cultivos y la regulación del clima. Esta pérdida de biodiversidad y funcionalidad ecosistémica no solo afecta la salud ambiental, sino también la económica y social, subrayando la urgente necesidad de adoptar prácticas de conservación y restauración más efectivas y sostenibles (Trucíos-Caciano et al., 2013; Zaragoza Álvarez et al., 2016).

El disturbio natural es un proceso que puede ocurrir de manera gradual o repentina, provocando alteraciones significativas en los ecosistemas. Los disturbios graduales, como la deforestación progresiva, la erosión del suelo o el cambio climático, se desarrollan

lentamente a lo largo del tiempo, modificando aspectos clave del ecosistema como su estructura, funcionalidad y composición. Este tipo de disturbios suele afectar la disponibilidad de recursos, alterar el paisaje y modificar las condiciones del sustrato o del medio físico de manera sostenida (Zaragoza Álvarez et al., 2016). Por otro lado, los disturbios humanos de rápida ocurrencia, como incendios forestales, tormentas intensas, huracanes o actividades humanas como la tala masiva y los derrames químicos, tienen un impacto inmediato y a menudo drástico. Estos eventos generan cambios abruptos que pueden destruir hábitats, eliminar especies sensibles y alterar el equilibrio ecológico en cuestión de horas o días. Independientemente de su velocidad, los disturbios desempeñan un papel crucial en la dinámica de los ecosistemas, ya que impulsan procesos de regeneración, sucesión ecológica y reorganización de las comunidades biológicas, aunque también pueden conducir a la degradación si la capacidad de recuperación del sistema se ve superada (Cabrera & Crespo, 2001).

Los disturbios antropogénicos son alteraciones causadas por las actividades humanas, como el cambio de uso de suelo para actividades agropecuarias, la implementación de sistemas agroforestales, la expansión de monocultivos, la fragmentación de bosques debido a la deforestación, la sobreexplotación de los pastizales, el uso intensivo de maquinaria agrícola y la contaminación asociada al manejo de agroquímicos. Estas actividades modifican la estructura y funcionalidad del ecosistema, afectando la biodiversidad del suelo y alterando las dinámicas de las comunidades biológicas que lo habitan (Zaragoza Álvarez et al., 2016). Los disturbios provocan la pérdida y fragmentación de los bosques y la modificación de los paisajes, afectando a diversas especies de fauna y flora. Estas alteraciones tienen un impacto significativo en las

propiedades del suelo, en particular en la densidad aparente, la biomasa microbiana y el contenido de materia orgánica (Acevedo & Delibes-Mateos, 2013).

Varios factores, como la disponibilidad de materia orgánica, el contenido de nutrientes, la acidez o alcalinidad del suelo (pH), la humedad, la temperatura, las prácticas de manejo del suelo y los niveles de compactación, afectan a los organismos del suelo. Debido a esto, las poblaciones de estos organismos son sumamente variables, ya que dependen del tipo de suelo, la vegetación y las condiciones climáticas. Estas variaciones pueden reflejarse en la composición de la mesofauna del suelo entre diferentes ecosistemas dentro de una misma región. Además, la variabilidad de los microhábitats, con sus respectivos microambientes permite la coexistencia de organismos con características muy diferentes (Berude et al., 2015).

Los ambientes naturales desempeñan un papel vital al proporcionar una amplia gama de servicios ecológicos esenciales, como el control de enfermedades, la regulación de plagas y la estabilización del clima. Sin embargo, las diversas prácticas de uso del suelo pueden ocasionar cambios significativos en los organismos que lo habitan. Por lo tanto, es crucial que el uso de la tierra esté en armonía con la conservación de condiciones similares a las naturales. Las fluctuaciones en el contenido de agua y la temperatura del suelo pueden generar variaciones en la población de organismos del suelo, lo que subraya la importancia de mantener la estabilidad ambiental para preservar la salud y la funcionalidad de los ecosistemas terrestres (Zerbino et al., 2008).

El proceso de fragmentación de los ecosistemas forestales, con constantes perturbaciones antropogénicas, es una amenaza grande para la biodiversidad. Según

Rovedder et al. (2009) la riqueza de la fauna del suelo está relacionada con la disponibilidad y calidad de la cobertura vegetal como fuente de nutrientes y refugio. El arado, la quema, las exposiciones del suelo al sol y el uso de fertilizantes amoniacales provocan la desaparición de la mayoría de la mesofauna. Otro factor letal para la población de organismos de la mesofauna del suelo es la exposición del suelo a la radiación solar, lo que resulta en un aumento de la temperatura (Berude et al., 2015).

Las técnicas agrícolas convencionales, así como la fragmentación de los bosques, también provocan reducciones en la población de la mesofauna. Las actividades antropogénicas, como el manejo y uso del suelo, ya sea mediante el pisoteo intensivo del ganado o el empleo de maquinaria pesada, inducen cambios en la densidad, porosidad e infiltración de agua en el suelo. Como resultado de estas prácticas agrícolas, se observa una disminución en la diversidad y abundancia de organismos de la mesofauna (Gutiérrez-Bermúdez et al., 2020).

La alteración del suelo, junto con la aplicación de pesticidas agrícolas, puede tener efectos negativos significativos sobre la salud del ecosistema. Estas prácticas no solo perturban la estructura física y química del suelo, sino que también pueden reducir la biodiversidad microbiana y afectar adversamente a los organismos benéficos que viven en él. Además, el uso extensivo de productos químicos puede llevar a la acumulación de toxinas en el suelo, contaminando las fuentes de agua y dañando a largo plazo la viabilidad de los cultivos y la salud de los ecosistemas circundantes (Zaragoza Álvarez et al., 2016). Por lo tanto, es esencial evaluar y moderar el uso de estas intervenciones para preservar la integridad y la funcionalidad de los suelos agrícolas. En este sentido, estudios como el de Lima et al. (2010) han demostrado que los sistemas agroforestales pueden mitigar los

efectos negativos de las alteraciones del suelo y el uso de agroquímicos, ya que su mayor diversidad estructural favorece una mayor riqueza de especies edáficas en comparación con sistemas agrícolas convencionales, como la agricultura de tala y quema o el monocultivo. Esto sugiere que el manejo agroforestal podría ser una estrategia viable para reducir la degradación del suelo y promover la conservación de la biodiversidad edáfica (J. Castro Lopez, 2017).

Los cambios en la composición de la comunidad arbórea, provocados por estos cambios antropogénicos, también pueden tener un impacto significativo en los ecosistemas subterráneos. Estos cambios de la composición de la comunidad arbórea influyen en el tipo de hojarasca, las raíces de las plantas, la calidad de los nutrientes y otros factores que afectan a la fauna del suelo, y pueden alterar la disponibilidad de alimentos, la estructura del hábitat y las condiciones ambientales en el suelo, lo que a su vez afecta la composición y la diversidad de la fauna del suelo (Gordillo Ruiz et al., 2020).

1.3 Hipótesis del disturbio medio y su relación con la fauna del suelo

La hipótesis del disturbio intermedio (Connell, 1978) propone que los niveles de perturbación moderados pueden mantener una mayor diversidad biológica en comparación con disturbios extremos, ya sean muy bajos o muy altos. En ecosistemas terrestres, este principio ha sido aplicado para explicar la diversidad de especies en comunidades vegetales, acuáticas y edáficas, donde las perturbaciones afectan la composición y abundancia de organismos.

En el caso de la fauna edáfica, los diferentes usos del suelo generan distintos niveles de perturbación que pueden influir en su diversidad funcional. Los sistemas agroforestales,

por ejemplo, presentan una combinación de factores naturales y de manejo que pueden generar un nivel de perturbación intermedio, favoreciendo la coexistencia de especies con distintos requerimientos ecológicos. Por otro lado, ecosistemas más estables como los bosques pueden favorecer especies especializadas, mientras que pastizales o sistemas agrícolas más intensivos pueden excluir organismos sensibles a las alteraciones en la estructura del suelo, la disponibilidad de recursos y las condiciones microclimáticas.

Estudios previos han demostrado que los sistemas agroforestales pueden mantener una mayor diversidad de organismos del suelo debido a la heterogeneidad estructural y la disponibilidad de microhábitats (Duarte Nuñez et al., 2020). En contraste, los suelos con manejo intensivo pueden reducir significativamente la abundancia de ciertos gremios tróficos, afectando la funcionalidad ecológica del ecosistema (Escobar Montenegro et al., 2017). Esta hipótesis es relevante en el presente estudio, ya que permite evaluar cómo la composición y abundancia de la fauna del suelo varía en función del tipo de uso de suelo y la intensidad del disturbio, proporcionando información clave para la conservación y manejo sostenible de los ecosistemas edáficos.

2. Objetivo general:

Evaluar los cambios en la composición de la comunidad de la edafofauna como indicadores de disturbio en tres condiciones de uso de suelo.

2.1 Objetivos específicos:

1. Comparar la comunidad de la fauna edáfica en tres tipos de uso de suelo (bosque, sistema agroforestal de pitahaya y campos de cultivo de maíz con manejo agroecológico)
2. Identificar los grupos funcionales de la edafofauna que son más sensibles al disturbio.

3. Hipótesis:

De acuerdo a la hipótesis del disturbio medio, la comunidad de la edafofauna en un sistema agroforestal de pitahaya será más diversa funcionalmente que en el bosque y el cultivo de maíz, debido a que el sistema agroforestal provee de condiciones ecológicas intermedias entre bosque y pastizal.

4. Metodología

4.2 Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en el predio “El Brasil” ubicado en el municipio de Suchiapa, Chiapas. La zona tiene una temperatura media anual que varía entre los 20-26 °C, la precipitación media anual es de 800-1500 mm, predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2010, Figura 1). Para este estudio se evaluó la fauna del suelo de tres sitios con manejo contrastante: un fragmento de bosque remanente, un sistema agroforestal de pitahaya y un área con producción de maíz con manejo agroecológico. El fragmento de bosque tiene componentes vegetativos de bosque tropical caducifolio que cubre una extensión de 3 ha (Figura 2A). El cultivo de maíz tiene una superficie de 2 ha, donde se practican técnicas de agricultura de conservación como labranza cero y cobertura por rastrojos (Figura 2B). Por último, el sistema Agroforestal de cultivo de Pitahaya (SAF) cubre una extensión de 3 ha: En este sistema agroforestal, las pitahayas (*Hylocereus undatus*) se establecen en tutores vivos de *Bursera diversifolia*. Además, en este SAF se encuentran árboles nativos dispersos que son tolerados por los productores para la provisión de algunos bienes y servicios (Figura 2C).

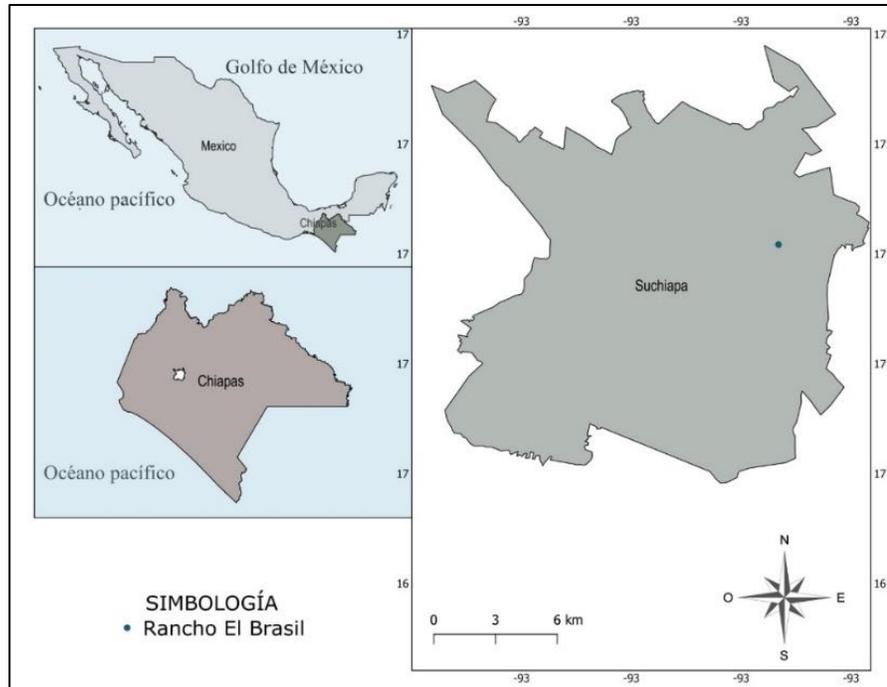


Figura 1. Ubicación geográfica del rancho "El Brasil" en el municipio de Suchiapa, Chiapas.

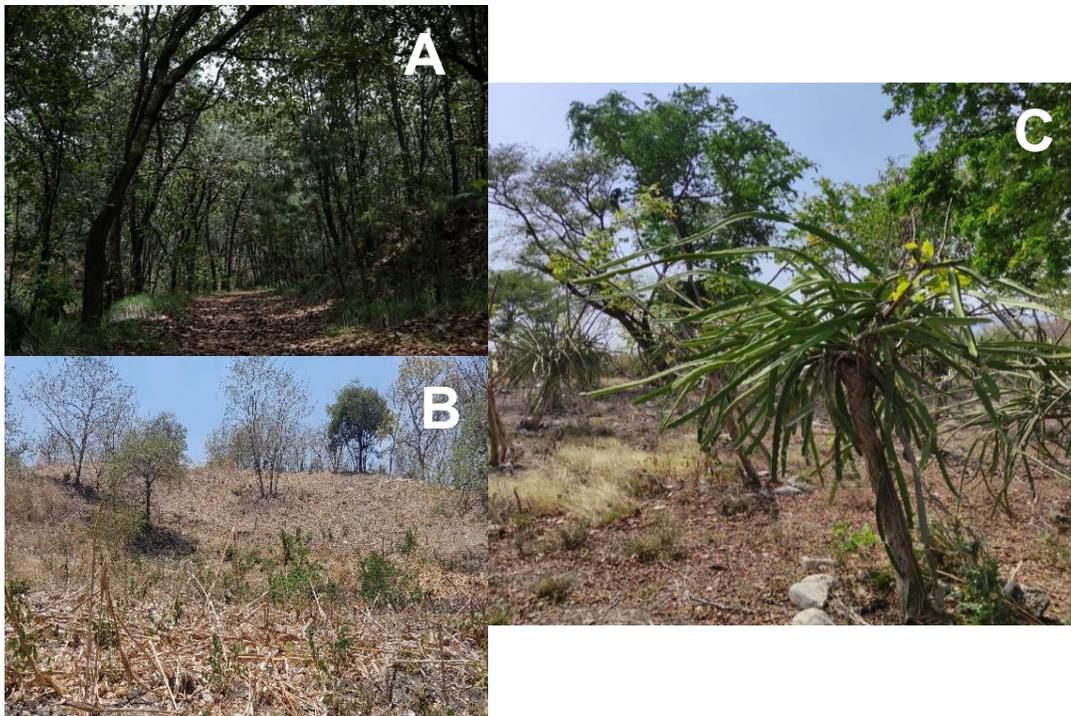


Figura 2. Sitios de estudio para evaluar a la fauna del suelo. (A) Bosque, (B) Pastizal, (C) Sistema Agroforestal de pitahaya.

4.2 Colecta e identificación de organismos

Método de muestreo

En cada uno de los sitios seleccionados se llevaron a cabo cuatro muestreos, cada tres meses a lo largo de un ciclo productivo (enero, abril, junio y agosto). Para la colecta de la fauna del suelo se realizó un transecto de 60 m lineal, sobre el cuál se aplicaron las técnicas de extracción cada 5 m, con un total de 12 muestras por transecto por sitio y por visita. Para la captura de la fauna del suelo se aplicaron dos técnicas: monolitos, que son cubos de suelo de $20 \times 20 \times 20$ cm (Figura 3A), y se colocaron trampas de caída que consisten en recipientes con agua jabonosa al fondo y enterrados a ras del suelo (Figura 3B), todo esto siguiendo la Metodología del Programa Internacional “Biología y Fertilidad del Suelo Tropical” o TSBF (Cabrera et al., 2011). Los muestreos se llevaron a cabo tanto en época de lluvias como en secas.



Figura 3: Técnicas utilizadas para la captura de la fauna del suelo. (A) Trampa de manera directa (monolito) y (B) trampa de caída (pitfall).

Todos los organismos recolectados se preservaron en alcohol al 70% (Escobar Montenegro et al., 2017) para su posterior identificación taxonómica hasta nivel de orden (Society, 1980) (Figura 4). Además, los organismos recolectados fueron categorizados según su estrategia de alimentación en diferentes gremios tróficos, los cuales incluyen depredadores, herbívoros, detritívoros y nectarívoros. Esta clasificación permite analizar el papel funcional de la fauna edáfica en los distintos tipos de uso de suelo y evaluar cómo su abundancia y distribución responden a las condiciones ambientales y al manejo del suelo (Cabrera, 2012).

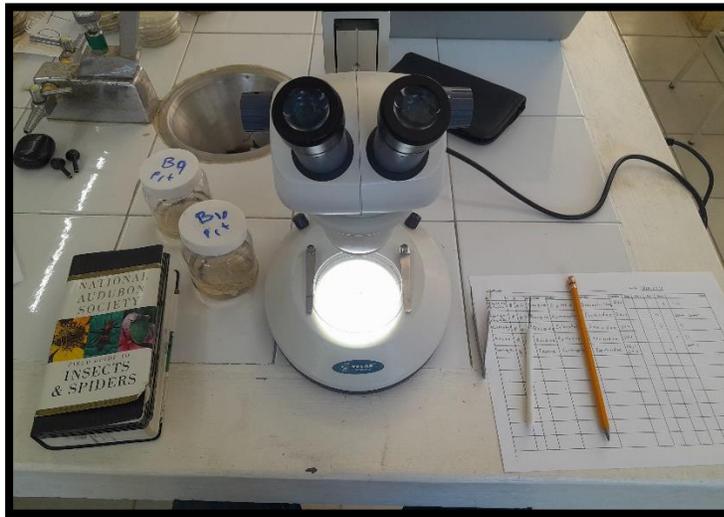


Figura 4. Materiales que se usaron para la manipulación e identificación de los individuos colectados en campo.

4.3 Análisis estadísticos

Para analizar los cambios en la composición de la comunidad de edafofauna en relación a los distintos tipos de uso de suelo (pastizal, SAF y bosque) y estacionalidad (lluvias y secas), se realizaron modelos lineales generalizados usando el software R (Duarte Nuñez et al., 2020). Se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) para detectar si hay diferencias significativas en la abundancia y riqueza de organismos entre los tipos de uso de suelo. En caso de detectar diferencias significativas, se realizaron pruebas de comparación *post-hoc* con la prueba de Tukey, permitiendo la identificación de grupos funcionales frente a gradientes de perturbación y estacionalidad.

5. Resultados y discusión

5.1 Abundancia general de la fauna del suelo

Se colectaron un total de 3,673 organismos en los tres tipos de uso de suelo. La mayor abundancia se encontró en SAF con 2,083, seguido del bosque con 864 y pastizal 726 (Figura 5). En total, se identificaron 28 órdenes, de los cuales los más importantes en cuanto a su abundancia fueron, para el Bosque; Hymenoptera (con 655), Coleoptera

(54) y Araneae (42), para el SAF; Hymenoptera (1527), Colembola (328) y Diptera (55), y para Pastizal; Hymenoptera (562), Crassiclitellata (57) y Trombidiformes (37) (Tabla 1).

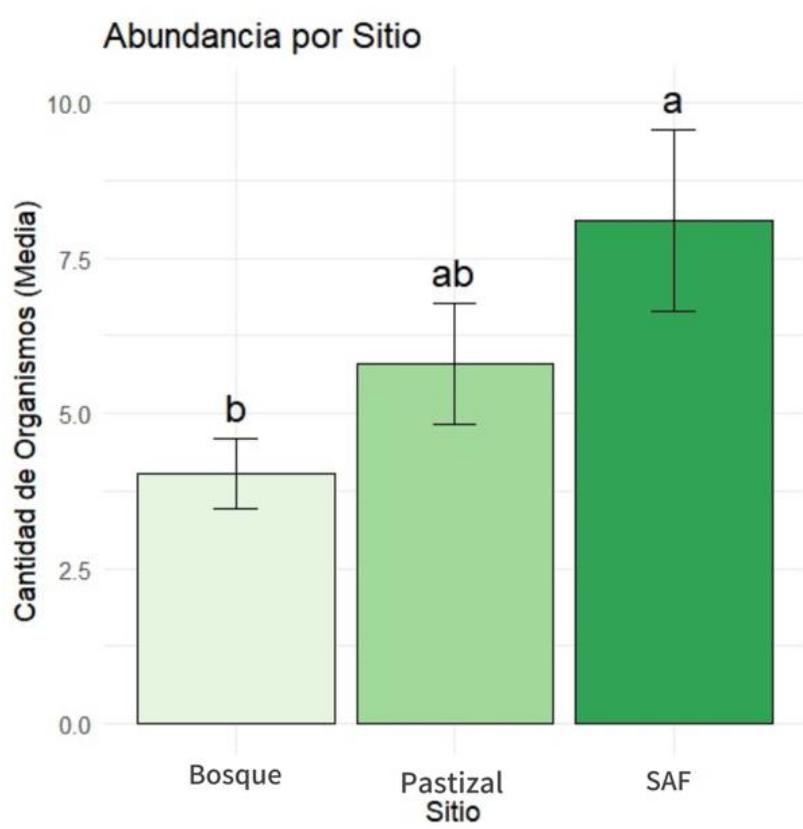


Figura 5. Abundancia de edafofauna en los tres diferentes tipos de uso del suelo.

Tabla 1. Abundancia de la fauna edáfica a nivel de Orden en tres usos del suelo: Bosque, Sistemas Agroforestales y Pastizal.

Orden	Bosque	SAF	Pastizal	Total
Acarina	1	5	0	6
Araneae	42	48	22	112
Blattodea	37	3	4	44
Colembola	1	328	0	329
Coleoptera	54	20	12	86
Crassiclitellata	7	13	57	77
Diplopoda	1	0	0	1
Diptera	18	55	4	77
Embioptera	0	3	0	3
Hemiptera	7	13	3	23
Homoptera	0	2	0	2
Hymenoptera	655	1527	562	2744
Isoptero	4	29	14	47
Julida	0	0	2	2
Lepidoptera	3	0	0	3
Mantodea	1	0	1	2
Myriapoda	1	0	0	1
Neuroptera	2	2	0	4
Oribatida	5	25	0	30
Orthoptera	3	3	5	11
Polydesmida	1	0	1	2
Psocoptera	0	5	0	5
Scorpiones	1	0	1	2
Thysanoptera	1	1	0	2
Thysanura	3	0	0	3
Trichoptero	0	1	0	1
Trombidiformes	7	0	37	44
Zygentoma	9	0	1	10
Total	864	2083	726	3673

En la clase Insecta destaca el orden Hymenoptera, este grupo puede incluir organismos detritívoros como las hormigas pero también avispas que desempeñan una función muy importante como depredadores de herbívoros (Escobar Montenegro et al., 2017). En cuanto al promedio de abundancia se encontraron diferencias significativas entre sitios ($F=3.408$, $GL=2$, $p=0.033$), siendo el SAF y el pastizal, los tipos de uso de suelo con mayor cantidad de organismos registrados (Tabla 1). En el SAF predominan los órdenes principalmente de Hymenoptera que representa el 73.27% (19.3 ± 4.20), seguido de Colémbolo con 15.27% (27.3 ± 8.60), Díptera con 2.64% (1.83 ± 0.35) y Araneae con 1.63% (1.26 ± 0.11). En el pastizal, Hymenoptera representa el 76.03% (46.83 ± 6.84) de la abundancia relativa, seguido por Crassicitellata (7.85%) (4.75 ± 2.18) y Trombidiformes (5.10%) (3.08 ± 1.76). En el uso de suelo de bosque, Hymenoptera se mantiene como el orden más abundante con 75.78% (54.58 ± 7.39), mientras que otros ordenes como Coleoptera 6.26% (4.50 ± 2.12) y Blattodea 3.94% ($3,08 \pm 1,76$), también muestran una representación significativa (Tabla 6). Este resultado confirma lo observado por otro estudio, en donde el tipo de manejo del suelo y las características propias de cada sitio influyen en la composición y abundancia de la comunidad de la fauna del suelo (Grisel & Cabrera, 2019).

Este resultado confirma lo observado por otros estudios, donde el tipo de manejo del suelo y las características propias de cada sitio influyen en la composición y abundancia de la comunidad de la fauna del suelo (Grisel & Cabrera, 2019). De acuerdo con las pruebas *post hoc*, pastizal y bosque son similares en cuanto a la abundancia total de fauna del suelo ($p = 0.622$), sugiriendo que, el disturbio aumenta la abundancia total de organismos debido al crecimiento desproporcionado de grupos de organismos generalistas como las

hormigas que son los grupos más abundantes en estos dos tipos de uso de suelo. Estos resultados son similares a los reportados en estudios sobre el impacto del manejo agroecológico y la heterogeneidad estructural del paisaje en la fauna edáfica, donde se ha encontrado que los sistemas con menor intervención humana, tienen una tendencia a mantener una composición estable de organismos del suelo, mientras que los sistemas con manejo agroforestal pueden aumentar la abundancia de ciertos grupos funcionales debido a la mayor diversidad de recursos y microhábitats (Escobar Montenegro et al., 2017).

Este patrón de mayor abundancia en el SAF respalda la hipótesis del disturbio intermedio, donde los niveles moderados de perturbación permiten la coexistencia de un mayor número de organismos, favoreciendo tanto a especies que responden positivamente al disturbio como a aquellas que prosperan en condiciones menos alteradas (Gordillo Ruiz et al., 2020). Esta dinámica destaca la importancia del manejo agroforestal como un sistema que mantiene elementos asociados a la estructura, función y recursos necesarios para sostener una abundante comunidad de fauna del suelo, en comparación con otras condiciones ecológicas debido al uso de suelo, promoviendo así una diversidad funcional crucial para la salud del ecosistema.

5.1.1 Abundancia por gremios tróficos por sitio

La abundancia de los gremios tróficos en los distintos tipos de uso de suelo muestra patrones importantes que reflejan la influencia de las características de cada sitio sobre la fauna edáfica (Tabla 2). El análisis ANOVA revela una interacción significativa entre la abundancia relacionada con los gremios tróficos y con el tipo de uso de suelo ($p = 0.043$)

(Tabla 2). Estos resultados sugieren que la disponibilidad de recursos y las condiciones ecológicas de cada sitio afectan la distribución y la abundancia de gremios tróficos específicos. En particular, los herbívoros y detritívoros presentan una mayor abundancia en el SAF, posiblemente debido a la mayor diversidad de recursos en comparación con bosque y pastizal. La Figura 6 ilustra estas diferencias. Esta interacción entre el tipo de suelo y los gremios tróficos destaca la importancia del manejo del uso de suelo en la conservación de la diversidad funcional de la fauna del suelo.

Tabla 2. Tabla de ANOVA sobre la abundancia de fauna del suelo: Efectos de los gremios tróficos, sitios y su interacción

	sum_sq	df	F	PR(>F)
Gremios tróficos	8349.716	4	7.304	<0.001
Sitios	4606.157	2	8.058	0.005
Gremios tróficos X Sitios	4772.059	8	2.087	0.043
Residual	156616.066	548		

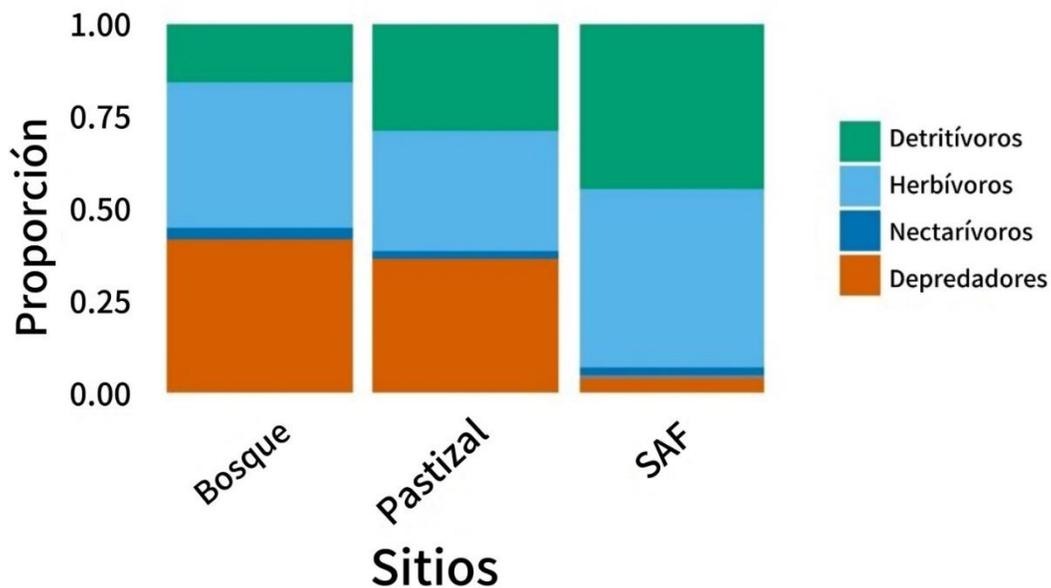


Figura 6. Proporción de gremios tróficos de la fauna edáfica en tres usos del suelo: Bosque, Pastizal y Sistemas Agroforestales (SAF).

5.1.2 Efecto de la estacionalidad sobre la abundancia de gremios tróficos por sitio

En cuanto al efecto de la estacionalidad sobre la abundancia de gremios tróficos, por sitio, se encontraron diferencias significativas para los depredadores, tanto en el sitio como la estacionalidad (Tabla 3). Además, la interacción entre sitio y estación también es significativa ($F= 4.421$, $p= 0.013$), lo que sugiere que la abundancia de depredadores varía en función de ambos factores (Figura 7).

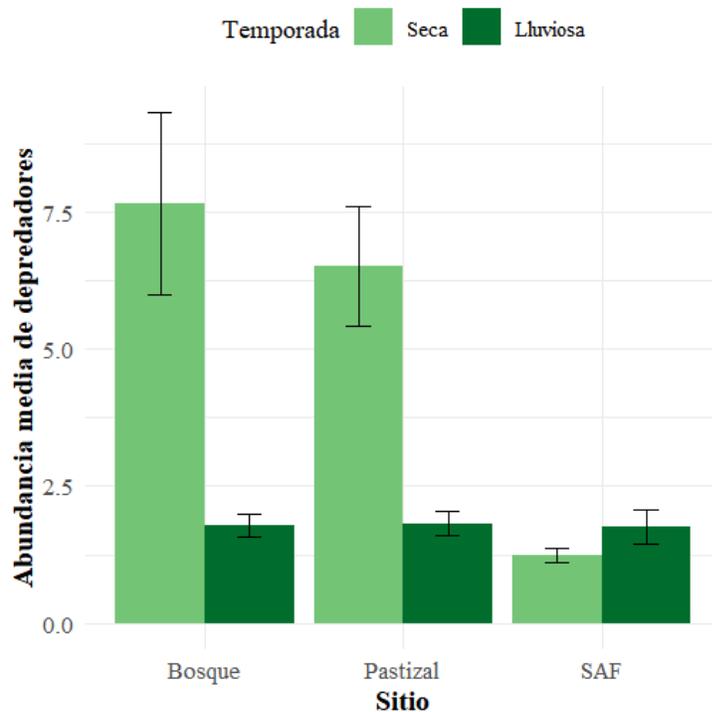


Figura 7. Abundancia media de depredadores en tres usos del suelo (Bosque, Pastizal y Sistemas Agroforestales - SAF) durante las estaciones seca y lluviosa.

Para los herbívoros no se observaron efectos significativos del sitio, la estacionalidad y la interacción entre ambas (Tabla 3). La estabilidad en la abundancia de los herbívoros sugiere que estos organismos son tolerantes a las variaciones en el uso de suelo y las condiciones ambientales, posiblemente por su adaptabilidad a los recursos vegetales disponibles (Cabrera et al., 2011). Para el manejo de ecosistemas y específicamente para el cultivo de pitahaya, esto nos sugiere que estrategias como el cambio de sitios o la rotación estacional probablemente no reducirán su presencia, en consecuencia, es importante implementar prácticas de manejo específicas, como barreras físicas o control biológico, que minimicen el impacto de los herbívoros de manera constante en todos los sitios y estaciones para proteger eficazmente la pitahaya y otros cultivos.

En los detritívoros, se encontró un efecto significativo de la condición ($F = 9.318$, $p = 0.001$) y de la estación ($F = 6.534$, $p = 0.011$) pero la interacción entre estos factores no es significativa ($p = 0.246$) (Tabla 3). por lo cual estos resultados reflejan como los distintos gremios tróficos responden de manera diferencial a la variabilidad espacial y estacional en los sitios estudiados.

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) de la abundancia de gremios tróficos (depredadores, herbívoros y detritívoros) por sitio y estación.

Gremios Tróficos		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P
Depredadores	Sitio	2	432	215.9	6.414	0.002
	Estación	1	547	546.7	16.242	0.000
	Sitio X Estación	2	298	148.8	4.421	0.013
	Residual	168	5655	33.7		
Herbívoros	Sitio	2	2149	1074.6	1.158	0.318
	Estación	1	2915	2915.1	3.14	0.079
	Sitio X Estación	2	757	378.5	0.408	0.666
	Residual	115	106750	928.3		
Detritívoros	Sitio	2	3650	1825	9.318	0.000
	Estación	1	1280	1279.7	6.534	0.011
	Sitio X Estación	2	553	276.6	1.412	0.246
	Residual	193	37802	195.9		

Los resultados nos indican que los gremios tróficos de depredadores, herbívoros y detritívoros responden de manera diferencial a la variabilidad espacial y estacional. En primer lugar, la abundancia de los depredadores es mayor en el SAF y durante las lluvias debido a una mayor disponibilidad de presas y microhábitats, mientras que en el pastizal

no ocurre lo mismo (Acevedo & Delibes-Mateos, 2013). La dependencia de los depredadores de factores como la disponibilidad de presas y refugios probablemente explique por qué responden de manera tan sensible a los cambios tanto en sitio como en la estacionalidad. Esto sugiere que la disponibilidad de recursos o las condiciones ambientales específicas en cada sitio y estación influyen en la distribución y abundancia de los depredadores. La significancia en la interacción nos indica que el efecto de la estacionalidad en la abundancia de depredadores varía según el sitio, lo que podría relacionarse con factores como la disponibilidad de presas y la heterogeneidad ambiental. Estudios previos han reportado patrones similares, donde la estructura del hábitat y la variabilidad estacional afectan la distribución de depredadores edáficos. Por ejemplo, Duarte Núñez et al. (2020) encontraron que, en paisajes agroforestales con mayor cobertura vegetal y diversidad de microhábitats, la abundancia de depredadores tiende a aumentar en la temporada de lluvias debido a una mayor oferta de presas y refugios. De manera similar, Escobar Montenegro et al. (2017) reportaron que la complejidad estructural del suelo influye en la estabilidad de las poblaciones de depredadores, mientras que, en ecosistemas más abiertos, como los pastizales, estos grupos tienden a ser más vulnerables a los cambios estacionales. Estos hallazgos coinciden con nuestros resultados, resaltando la importancia de las condiciones del hábitat en la dinámica de los gremios tróficos.

En el sistema agroforestal la combinación de cultivos y vegetación arbórea probablemente proporciona una estructura de hábitat más diversa y una disponibilidad constante de recursos durante las diferentes estaciones. Durante la temporada de lluvia, la vegetación y el nivel de humedad aumenta, lo que favorece a las presas de los depredadores tales

como los herbívoros y detritívoros. Esto a su vez podría permitir que la abundancia de depredadores se mantenga o incluso aumente en esta época. Además, la heterogeneidad estructural del SAF ofrece múltiples microhábitats que facilitan la persistencia de los depredadores al proporcionar refugio y una red de presas diversificadas.

En el bosque, la mayor cobertura de dosel, la acumulación de hojarasca y la alta humedad generan un ambiente menos variable y más estable, especialmente en términos de microhábitats y disponibilidad de presas. Durante la temporada de lluvias, la abundancia de detritívoros, que depende del procesamiento de materia orgánica, puede aumentar debido a la acumulación de humedad y el crecimiento de plantas que generan más hojarasca y recursos. Esto, a su vez, puede favorecer a los depredadores. Sin embargo, durante el estiaje, la humedad y la disponibilidad de presas podrían reducirse en el suelo, lo que puede llevar a una disminución en la abundancia de depredadores si las presas escasean. La respuesta de los depredadores en el bosque a la estacionalidad, por tanto, depende de cómo los cambios de recursos durante el año afectan a sus presas principales, especialmente los detritívoros.

En el pastizal, la estructura del hábitat es más abierta y uniforme, con menor cobertura vegetal y menos refugio, lo cual puede limitar la abundancia de presas y la diversidad de microhábitats disponibles para los depredadores. Durante la temporada de lluvias la disponibilidad de alimento para los herbívoros puede aumentar debido al crecimiento de la vegetación, lo cual podría elevar la abundancia de estos y en consecuencia ofrecer más presas para los depredadores, Durante el estiaje la vegetación es menos densa y ofrece menos cobertura para los herbívoros y detritívoros, lo que los hace más vulnerables a los

depredadores. La disminución de refugio natural facilita la captura de presas, incrementando la eficiencia de caza por ende la abundancia de depredadores.

La interacción significativa entre sitio y estacionalidad en la abundancia de depredadores sugiere que estos organismos responden a los cambios ambientales y de recursos generados por esta combinación de factores. En ecosistemas con mayor cobertura vegetal, como el SAF y el bosque, la humedad del suelo y la disponibilidad de refugios pueden mantenerse relativamente estables a lo largo del año, favoreciendo la persistencia de depredadores incluso en épocas secas. Sin embargo, en el pastizal, la reducción de la cobertura vegetal durante el estiaje puede generar condiciones más extremas de temperatura y humedad, afectando tanto la disponibilidad de presas como la capacidad de los depredadores para sobrevivir y desplazarse. Durante la temporada de lluvias, el incremento de materia orgánica y la mayor actividad de organismos presa pueden generar un aumento en la abundancia de depredadores en sitios con mayor heterogeneidad estructural, como el SAF, mientras que, en el pastizal, la falta de microhábitats adecuados puede limitar este efecto. Esto indica que los cambios ambientales generados por la interacción entre sitio y estacionalidad regulan la disponibilidad de recursos, lo que a su vez impacta la presencia y actividad de los depredadores en cada tipo de uso de suelo (Figura 7). Este análisis destaca cómo la heterogeneidad en las condiciones bióticas y abióticas del hábitat y la estacionalidad influyen en la comunidad de depredadores, subrayando la importancia de considerar ambos factores en el manejo y conservación de estos ecosistemas.

Por otro lado, el gremio de herbívoros no muestra efectos significativos del sitio, la estación o su interacción. Esto puede sugerir que la abundancia de herbívoros es más estable y

menos sensible a las variaciones en el entorno y las condiciones estacionales en los sitios estudiados.

En el caso de los detritívoros, se observan efectos significativos tanto del sitio como de la estación, pero no de la interacción entre ambos. Esto indica que la abundancia de detritívoros varía en función del sitio y de las condiciones estacionales, pero de manera independiente. Esto podría explicarse por la variabilidad en la cantidad y calidad de materia orgánica en cada sitio y estación, que representa la principal fuente de alimento para estos organismos.

La figura 8 muestra la abundancia de gremios tróficos en los tres sitios y en ambas temporadas (estiaje y lluvia) refleja la influencia de la estacionalidad en la variación de estos grupos. Aunque el valor de $p = 0.07$ indica una tendencia hacia la significancia, no alcanza el umbral convencional ($p < 0.05$). Esto sugiere que, si bien las temporadas de estiaje y lluvia pueden influir en la abundancia, el efecto estacional no es lo suficientemente fuerte en todos los casos para ser considerado significativo. Resultados similares han sido reportados en estudios sobre comunidades de fauna edáfica, donde se ha observado que la estacionalidad puede afectar la composición y abundancia de ciertos gremios tróficos, pero su impacto varía dependiendo de la cobertura vegetal y la disponibilidad de recursos. Por ejemplo, Duarte Núñez et al. (2020) encontraron que, en paisajes agroforestales, la mayor heterogeneidad estructural amortigua las fluctuaciones estacionales en la abundancia de organismos del suelo, lo que podría explicar por qué en algunos de nuestros sitios el efecto de la estación no está tan marcado. De manera similar, Escobar Montenegro et al. (2017) documentaron que, en pastizales abiertos, la fauna edáfica es más susceptible a cambios estacionales, especialmente en gremios como los

detritívoros y herbívoros, mientras que en sistemas con mayor cobertura arbórea la variación temporal es menos evidente. Estas comparaciones refuerzan la idea de que el impacto de la estacionalidad sobre la abundancia de gremios tróficos está mediado por la estructura del hábitat y la disponibilidad de microhábitats en cada tipo de uso de suelo.

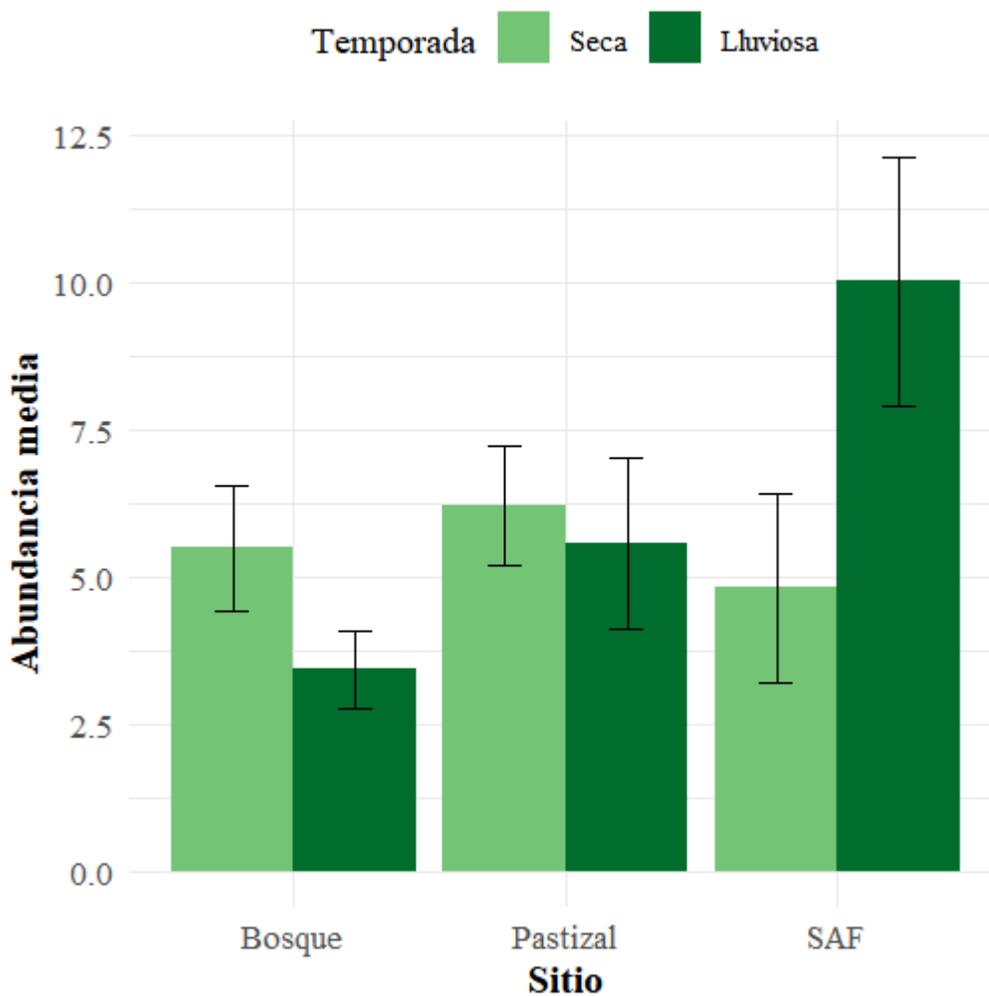


Figura 8. Abundancia media por cada uno de los sitios y las dos estaciones (estiaje y lluvia)

5.1.3 Efectos de la estacionalidad en la abundancia de gremios tróficos

5.1.4 Bosque

En cuanto a los efectos de la estacionalidad sobre los diferentes gremios tróficos en el Bosque, los depredadores presentan la mayor abundancia en los meses más secos y luego disminuye en los meses lluviosos. En tanto los detritívoros mantienen una abundancia similar en todos los meses y los herbívoros presentan un patrón opuesto a los depredadores, es decir disminuyen en los meses más secos y aumentan en la época de lluvia. Este incremento puede estar asociado con factores estacionales como el aumento en la disponibilidad de materia vegetal durante la época de lluvias (Figura 11).

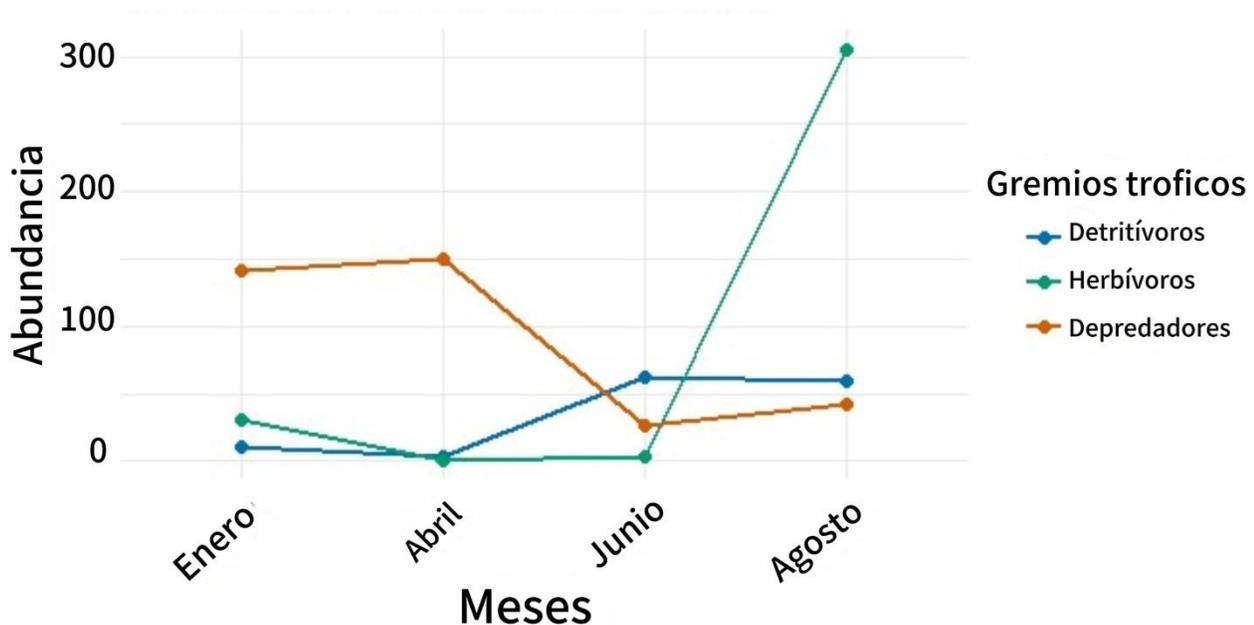


Figura 9. Variación de la abundancia por gremio trófico para el bosque en los cuatro meses de muestreos

5.1.5 SAF

Para el caso del SAF, los herbívoros presentan un patrón de baja abundancia en los meses más secos, pero aumenta en agosto de manera significativa con respecto a detritívoros y depredadores que mantienen la abundancia en el resto de los meses muestreados. La variación en cuanto a los gremios tróficos en el sistema agroforestal sugiere que la estacionalidad afecta de manera distinta a cada grupo. Los detritívoros son muy importantes para el ciclo de nutrientes, los cuales presentan un pico en enero que disminuye en los siguientes meses, este comportamiento puede deberse a que los detritívoros dependan de la materia orgánica disponible en el suelo la cual podría disminuir en cantidad o calidad conforme pasan los meses más secos, antes de incrementarse en la época de lluvias (Figura 12).

El incremento de herbívoros en agosto podría estar relacionado con la temporada de lluvias, que favorecen el crecimiento de vegetación y aumenta la disponibilidad de alimento para este gremio. Por otro lado, la baja y constante abundancia de depredadores podría indicar que este gremio no es especialmente abundante o que su presencia en el SAF depende menos de la estacionalidad y más de la disponibilidad de presas específicas. En general el sistema agroforestal parece favorecer a los herbívoros en la temporada de lluvias, posiblemente se deba a la alta disponibilidad de recurso vegetales, mientras que los detritívoros muestran patrones que reflejan una dependencia más directa de la materia orgánica en procesamiento, especialmente en los meses secos.

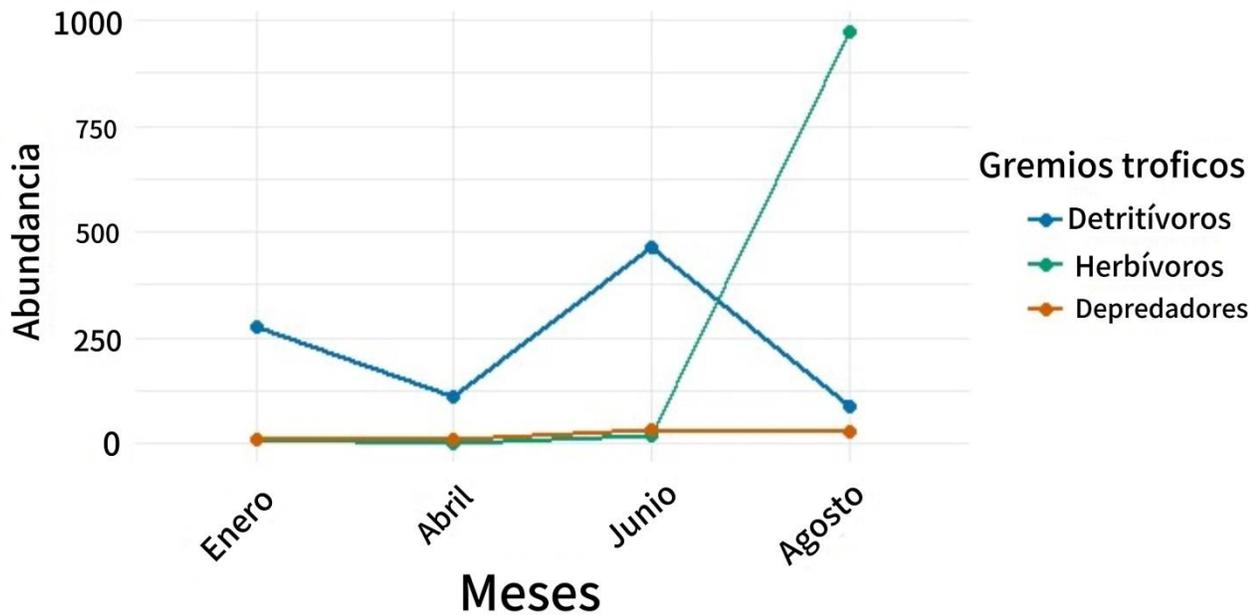


Figura 10. Variaciones de abundancia de gremio trófico para el Sistema Agroforestal en los 4 meses de muestreo

5.1.6 Pastizal

Por último, en el pastizal, los detritívoros presentan una tendencia ascendente desde los meses secos hasta los meses más lluviosos. Los herbívoros tienen una abundancia muy baja en los meses más secos y luego aumentan drásticamente con la temporada de lluvias. Al igual que en el Bosque, los depredadores tienen mayor abundancia en los meses secos y disminuye en los meses más lluviosos (Figura 13).

La dinámica observada en el pastizal refleja cómo cada gremio trófico responde de manera diferente a las condiciones ambientales y la disponibilidad de recursos. Los detritívoros, que desempeñan un papel crucial en el reciclaje de nutrientes, presentan una abundancia

relativamente estable, alcanzando su punto máximo en junio. Esto podría estar relacionado con una acumulación gradual de materia orgánica en el suelo que proporciona alimento para estos organismos, pero que disminuye en agosto con el aumento de herbívoros y posiblemente la competencia por recursos.

La variación en la abundancia de gremios tróficos en el pastizal refleja claramente la influencia de la estacionalidad y las limitaciones propias de este ecosistema simplificado. El aumento abrupto de herbívoros en agosto indica una respuesta a la temporada de lluvias, que incrementa la disponibilidad de plantas y otros recursos vegetales, resaltando la dependencia de este grupo en la productividad primaria del pastizal. Por otro lado, los depredadores muestran un pico en abril, posiblemente asociado con una mayor disponibilidad de presas, como detritívoros, que también aumentan en este periodo. Sin embargo, la disminución drástica de depredadores en los meses posteriores sugiere una limitación en la disponibilidad de presas o en las condiciones ambientales del pastizal. Estos patrones de abundancia tienen implicaciones ecológicas importantes, afectando procesos como el ciclo de nutrientes y la regulación de poblaciones en este tipo de ecosistema.

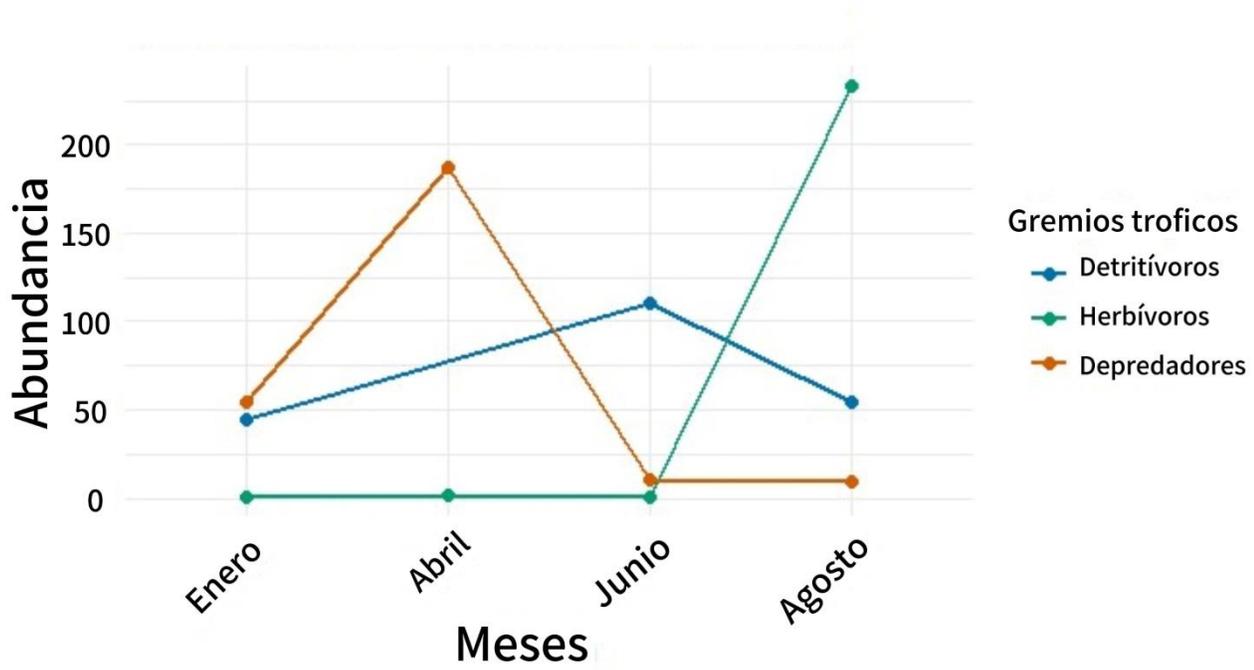


Figura 11. Variaciones de abundancia de gremio trófico para el Pastizal en los 4 meses de muestreos

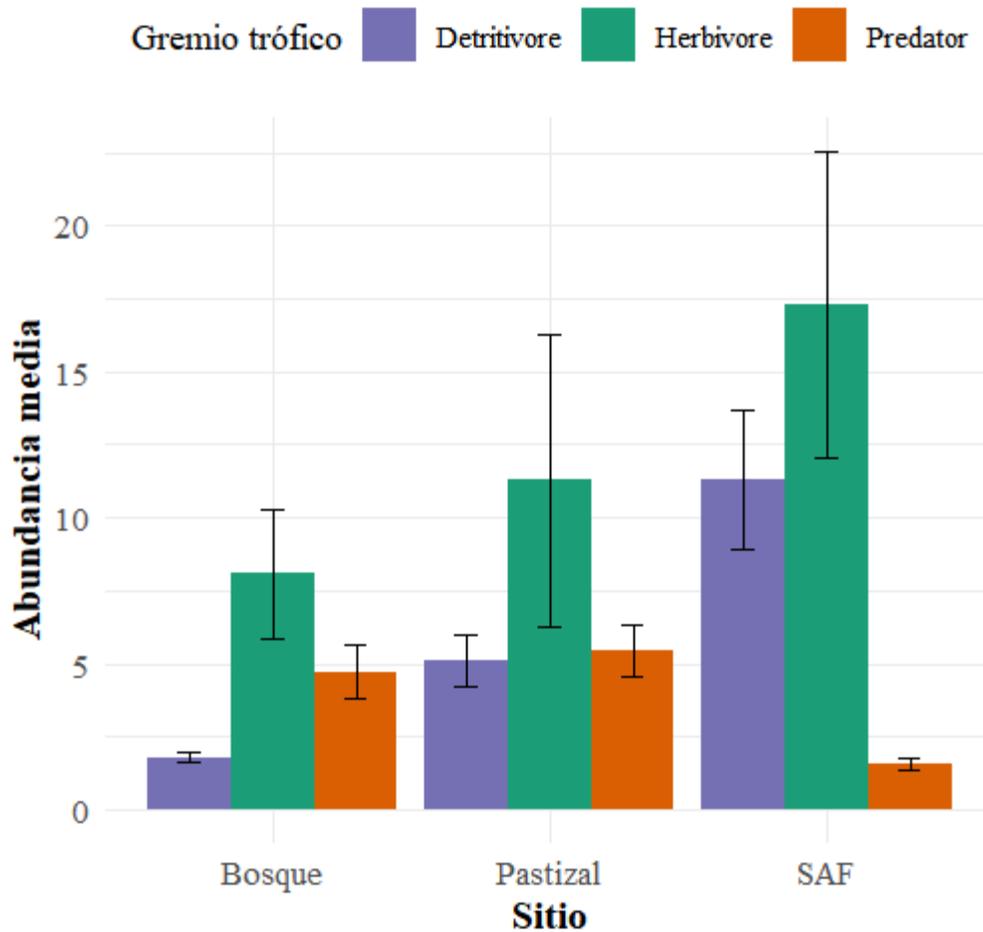


Figura 12. Abundancia media de gremios tróficos (detritívoros, herbívoros y depredadores) en tres usos del suelo: Bosque, Pastizal y Sistemas Agroforestales (SAF)

La tabla 5 muestra los resultados de la prueba post hoc de Tukey, realizada para analizar las diferencias de abundancia entre los distintos gremios tróficos dentro de cada tipo de uso de suelo. En el sitio de bosque (Forest), se observó una diferencia significativa entre los gremios de herbívoros y detritívoros ($p < 0.001$), con los herbívoros presentando una mayor abundancia. En Grassland, la diferencia entre los gremios de nectarívoros y

herbívoros también fue significativa ($p = 0.026$), indicando una menor abundancia de nectarívoros en comparación con los herbívoros. Finalmente, en el sistema agroforestal (SAF), la diferencia más notable fue entre los depredadores y herbívoros ($p = 0.006$), con los herbívoros mostrando mayor abundancia.

Estos resultados reflejan cómo las características de cada sitio influyen en la distribución de los gremios tróficos, resaltando que los herbívoros tienden a ser más abundantes en diferentes tipos de uso de suelo, particularmente en SAF y bosque. Estos patrones sugieren una relación entre la disponibilidad de recursos vegetales y la abundancia de herbívoros, mientras que los depredadores y otros gremios muestran distribuciones menos consistentes en relación con el tipo de suelo.

5.2 Variación de la riqueza a nivel de Orden

En cuanto a la riqueza de órdenes en general, no hay diferencias significativas entre sitios ($F=0.961$, $GL=2$, $p=0.389$). Esto sugiere que, aunque puede haber variaciones en la composición de los órdenes en cada sitio, la cantidad total de órdenes presentes es similar entre ellos. Este resultado podría reflejar que, a pesar de las diferencias en el uso de suelo o en las condiciones ambientales de cada sitio, la riqueza de la comunidad de fauna edáfica permanece relativamente estable en términos de número de órdenes.

En cuanto a la riqueza a nivel de Orden, se encontró que el sitio y la estacionalidad, son determinantes para la riqueza de órdenes de depredadores ($F= 6.65$, $p= 0.030$, Tabla 4). En cambio, la riqueza de órdenes de herbívoros no está determinada ni por el sitio ni la

estacionalidad y finalmente para los detritívoros, la riqueza de órdenes sólo está afectada por la estacionalidad ($F= 28.269$, $p= 0.003$). En este caso, los depredadores presentan mayor riqueza en época seca para pastizal y bosque, sin embargo, para SAF el patrón se invierte, presentando mayor riqueza en tiempo de lluvias con respecto al tiempo de secas. Esto se debe al aumento de recursos y cobertura en la temporada de lluvia ya que esto genera un incremento en la densidad de vegetación y la disponibilidad de recursos, tanto en términos de presas como de hábitat para los depredadores, esto se debe a que las especies de plantas en el SAF que es cultivo y especies arbóreas perennes, responden rápidamente al aumento de humedad, lo que podría atraer una mayor cantidad de insectos herbívoros y detritívoros, que a su vez sirven de alimento para los depredadores (Figura 9).

Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) de la riqueza de órdenes por gremios tróficos (depredadores, herbívoros y detritívoros) en función del sitio y la estación

Gremios tróficos		Df	Sum_Sq	Mean_Sq	F_value	P
Depredadores	Sitio	2	6.5	3.25	1.95	0.223
	Estación	1	1.333	1.333	0.8	0.406
	Sitio X Estación	2	22.167	11.083	6.65	0.030
	Residual	6	10	1.667		
Herbívoros	Sitio	2	10.17	5.083	1.848	0.237
	Estación	1	6.75	6.75	2.455	0.168
	Sitio X Estación	2	3.5	1.75	0.636	0.562
	Residual	6	16.5	2.75		
Detritívoros	Sitio	2	2.68	1.34	0.516	0.626
	Estación	1	73.5	73.5	28.269	0.003
	Sitio X Estación	2	5	2.5	0.962	0.443
	Residual	5	13	2.6		

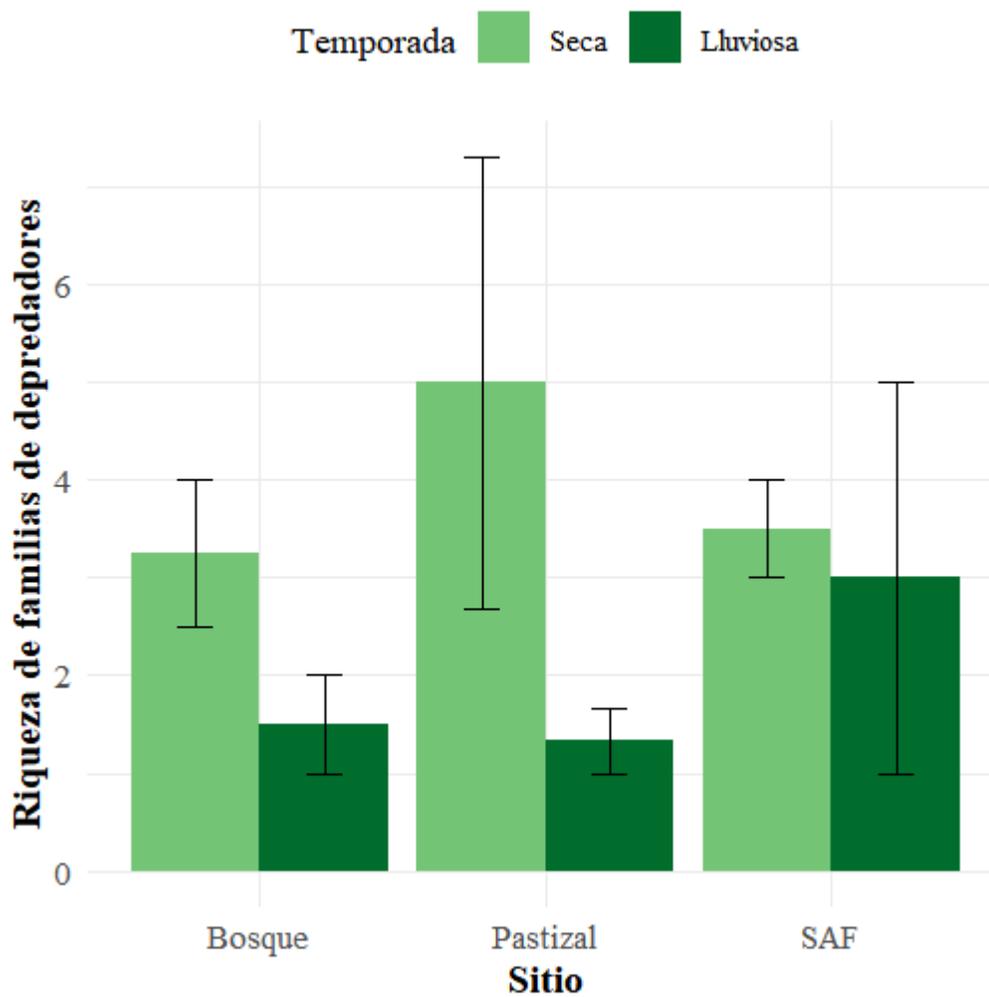


Figura 13. Riqueza de familias de depredadores en tres usos del suelo (Bosque, Pastizal y Sistemas Agroforestales - SAF) durante las estaciones seca y lluviosa.

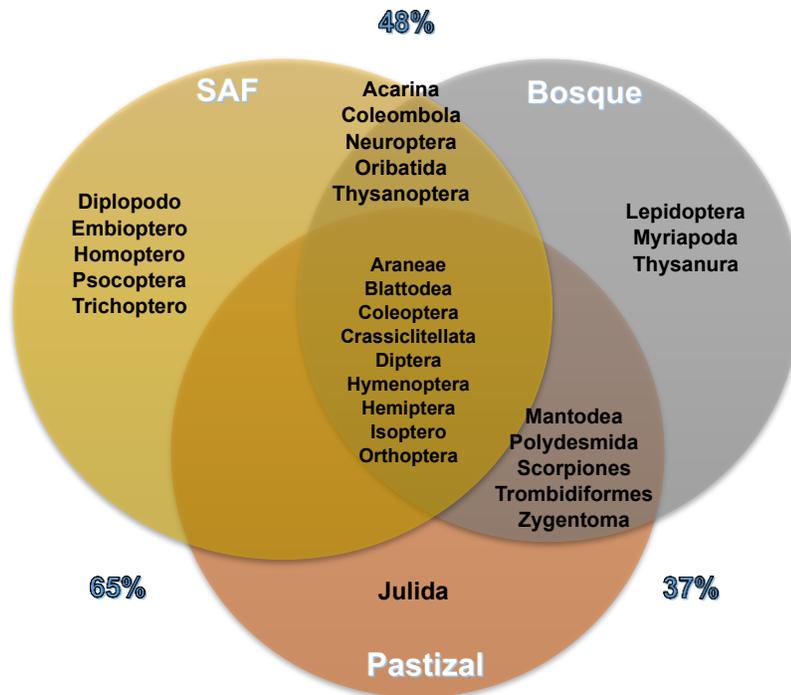


Figura 14. Diagrama de Venn con los órdenes que son exclusivos para cada uno de los sitios y los que se comparten entre sitios.

El análisis de la composición de órdenes de la fauna edáfica en los tres tipos de uso del suelo muestra que existen tanto órdenes exclusivos para cada sitio como órdenes que se comparten entre ellos (Figura 10). El Sistema Agroforestal (SAF) destaca por tener la mayor cantidad de órdenes exclusivos, con cinco en total (Diplopoda, Embioptero, Homoptero, Psocoptera y Trichoptero). La presencia de estos órdenes en el SAF sugiere que ciertas características de este sistema, como la combinación de cultivos y vegetación arbórea, crean microhábitats únicos que benefician a organismos especializados. Por ejemplo, la hojarasca y los residuos de cultivos podrían proveer refugios y alimento, particularmente valiosos para grupos como los Diplopoda, que tienen un papel clave en la descomposición y ciclado de nutrientes. Además, la estructura compleja del SAF podría

atraer a insectos fitófagos (como Homópteros y Embiópteros), cuya presencia es importante desde un punto de vista económico, ya que incluye tanto plagas potenciales (áfidos, cochinillas, moscas blancas) como insectos benéficos asociados con el control biológico natural (mariquitas, avispas parasitoides) en agroecosistemas (Tarrá et al., 2012).

En el bosque, se registraron tres órdenes exclusivos: Lepidoptera, Myriapoda y Thysanura. Esta exclusividad es probablemente una respuesta a las condiciones específicas de los ambientes forestales, como la gran cantidad de hojarasca y los refugios que ofrece el sotobosque, que favorecen la presencia de organismos especializados en la descomposición de materia orgánica (Duarte Nuñez et al., 2020). Los lepidópteros, aunque típicamente asociados con fases adultas que interactúan con plantas, también incluyen especies cuyas larvas se desarrollan en ambientes de suelo y hojarasca, contribuyendo indirectamente a la dinámica de nutrientes. Asimismo, los Myriapoda y Thysanura son descomponedores fundamentales, reciclando la hojarasca y promoviendo la formación de suelo fértil. Estos grupos no solo tienen una función ecológica esencial en el bosque, sino que su presencia y abundancia pueden ser indicadores de la salud del ecosistema, particularmente en la evaluación de la integridad del suelo y la calidad de la hojarasca (Delgado et al., 2017).

Por último, en el pastizal se encontró un único orden exclusivo, Julida. La baja cantidad de órdenes exclusivos en este sitio sugiere una limitación en la diversidad de microhábitats, probablemente debido a la menor complejidad estructural del pastizal. Los Julida, un grupo de importancia ecológica por su rol en la descomposición de materia orgánica, parecen ser uno de los pocos organismos que encuentran condiciones

favorables en el pastizal, donde la vegetación uniforme y la escasa hojarasca restringen la variedad de refugios y recursos. Esto puede tener implicaciones tanto ecológicas como económicas, ya que una menor diversidad edáfica podría reducir la resiliencia del suelo en pastizales y su capacidad para sostener procesos esenciales como la descomposición, afectando la salud y productividad del suelo a largo plazo (Cabrera & Crespo, 2001).

6. Conclusiones

Este estudio permite evaluar la influencia de los distintos tipos de uso de suelo (pastizal, sistema agroforestal y bosque) en la composición por gremios tróficos y abundancia de la edafofauna. Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada, en la cual se esperaba encontrar variaciones significativas en la diversidad de la comunidad de fauna edáfica entre los diferentes usos del suelo. Los objetivos del estudio se cumplieron, ya que se identificaron los gremios tróficos sensibles y resistentes al disturbio y se analizaron los cambios en la abundancia de estos grupos en función de la estacionalidad y del tipo de uso de suelo.

Los hallazgos revelaron que el sistema agroforestal promueve una mayor abundancia de herbívoros y detritívoros en comparación con el pastizal y el bosque, lo que sugiere que este tipo de manejo del suelo ofrece condiciones favorables para estos gremios. Además, la interacción significativa entre el uso de suelo y los gremios tróficos destaca cómo las condiciones ecológicas y la disponibilidad de recursos en cada sitio afectan de manera diferencial a la fauna del suelo.

Estos resultados tienen importantes implicaciones ecológicas y prácticas, ya que demuestran que el manejo del uso del suelo puede desempeñar un papel clave en la conservación de la diversidad funcional de la fauna edáfica. Sin embargo, es importante considerar que el estudio presenta limitaciones, como el número de sitios y el tiempo de muestreo, lo que podría influir en la generalización de los resultados. Se recomienda que futuros estudios amplíen el alcance espacial y temporal para una comprensión más integral de la dinámica de la edafofauna en diferentes sistemas de uso de suelo.

7. Bibliografía

- Acevedo, P., & Delibes-Mateos, M. (2013). Effects of changes in land use on game species in southern Spain: Implications for game management. *Ecosistemas*, 22(2), 33–39. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-2.06>
- Baldovino Sanjuán, F. A., Castellanos González, L., & de Mello Prado, R. (2022). Edaphic mesofauna, some studies done: A review. *Inge Cuc*, 18(2), 197–208. <http://doi.org/10.17981/ingecuc.18.2.2022.16>
- Berude et al., 2015. (2015). La mesofauna del suelo y su importancia como bioindicador. *Enciclopedia Biosfera*, 151(1), 10–17.
- Cabrera, G. (2012). Edaphic macrofauna as biological indicator of the conservation/disturbance status of soil. Results obtained in Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4), 350.
- Cabrera, G. (2019). Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba. *Universidad de Alicante.*, 137. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88889/1/tesis_grisel_de_la_caridad.pdf
- Cabrera, G., & Crespo, G. (2001). Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(1), 3–9.
- Cabrera, G., Robaina, N., & Ponce De León, D. (2011). Functional composition of soil macrofauna in four land uses of Artemisa and Mayabeque provinces, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34(3), 331–346.

- Delgado, L., Matteucci, S., Acevedo, M., Valeri, C., Blanca, R., & Márquez, J. (2017). Causas directas que inducen el cambio de uso del suelo y de la cobertura boscosa a escala de paisaje, en el sur de Venezuela. *Interciencia*, 42(3), 148–156.
<https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/FAO-2000.pdf>
- Domínguez, J., Aira, M., & Gómez-Brandón, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas*, vol 18 no.(ISSN (Versión impresa): 1132-6344), 20–31.
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=601>
- Duarte Nuñez, D. A., Pinzón Florián, O. P., & Palacios-Vargas, J. G. (2020). Colémbolos epiedáficos (Hexapoda: Collembola) en dos usos del suelo en la Altillanura colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 68(4), 1198–1210.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.38333>
- Escobar Montenegro, A. D. C., Filella, J. B., & González Valdivia, N. A. (2017). Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 22, 39–49. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i22.4520>
- Gordillo Ruiz, M. C., Pérez Farrera, M. Á., & Castillo Santiago, M. Á. (2020). Structure and composition of trees of secondary deciduous dry forest in the central depression, Chiapas, Mexico. *Madera y Bosques*, 26(3), 1–15.
<https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632055>
- Gutiérrez-Bermúdez, C. del C., Mendieta-Araica, B. G., & Noguera-Talavera, Á. J.

(2020). Composición trófica de la macrofauna edáfica en sistemas ganaderos en el Corredor Seco de Nicaragua. *Pastos y Forrajes*, 43(1), 32–40.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000100032&lang=es

Herrera, F., & Cuevas, E. (2011). Artrópodos del suelo como bioindicadores de recuperación de sistemas perturbados. *Venezuelos*, 11(1–2), 67–78.

J. Castro Lopez. (2017). *Papel de la fauna edáfica en el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas*.

Martínez-Falcón, A. P., Moreno, C. E., & Pavón, N. P. (2015). Litter fauna communities and litter decomposition in a selectively logged and an unmanaged pine-oak forest in Mexico. *Bosque*, 36(1), 81–94. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000100009>

Matienzo Brito, Y., Alfonso-Simonetti, J., Vázquez Moreno, L. L., De la Masa Arias, R., Matamoros Torres, M., Díaz Finalé, Y., & Torres Lago Ángela Porras González, T. (2015). Diversity of functional groups of the edaphic fauna and its relationship with the design and management of three crops systems. *Fitosanidad*, 19(1), 45–55.

Rada, J. M. D., Iturbe, J. A. G., Vivar, S. I., Irabien, L. M. C., Manrique, C. E., Dzul, F. T., & Euán, A. D. (2007). Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geograficas*, 62(Mx), 104–124.

Sánchez, S., & Reinés, M. (2001). Papel de la macrofauna edáfica en Los ecosistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 24(3), 191–202.

<https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=896&path%5B%5D=398>

Society, N. A. (1980). *National Audubon Society Field Guide to Insects and Spiders: North America National Audubon Society Field Guides* (p. 992).

https://books.google.com.mx/books/about/National_Audubon_Society_Field_Guide_to.html?id=FtVGHH3Pyz0C&redir_esc=y

Stella, M., La, E. D. E., Del, M., En, S., & Con, R. C. (2010). Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivo-pasturas con laboreo convencional. *Acta Zoológica Mexicana*, 2, 189–202.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193022260001>

Tarrá, I. L. C., Luizão, F. de J., Wandelli, E. V., Teixeira, W. G., Morais, W. J., Fernandes, E. C. M., Brochel, K. V., & Pérez, N. V. (2012). Grupos funcionais da macrofauna e macroporos do solo em sistemas agrofloretais da Amazônia central. *Prospectiva*, 10(1), 6–17.

Trucíos-Caciano, R., Rivera-González, M., Delgado-Ramírez, G., Estrada-Ávalos, J., & Cerano-Paredes, J. (2013). Analysis of Land Use Change in San Cristóbal De Las Casas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XII(2), 45–50.

<https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.021>

Zaragoza Álvarez, R. A., Landázuri Benítez, G., & Vega Peña, E. V. (2016). Disturbio antropogénico como consecuencia del crecimiento urbano. El caso de la zona lacustre y de montaña en la delegación Xochimilco, México. *Sociedad y Ambiente*,

11, 42–67. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i11.1677>

Zerbino, S., Altier, N., Morón, A., & Rodríguez, C. (2008). Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo.

Agrociencia, 12(1), 44–55. <https://doi.org/10.31285/agro.12.744>

8. Anexos

Tabla 5: Prueba post hoc Tukey de Gremio trófico por Sitio

Site	Comparison	Estimate	Std_Error	z_value	p_value
Forest	Herbivore - Detritivore	6.2952	1.5419	4.083	<0.001
	Nectarivore - Detritivore	-0.2444	2.0998	-0.116	0.999
	Predator - Detritivore	2.9237	1.3022	2.245	0.106
	Nectarivore - Herbivore	-6.5397	2.2539	-2.902	0.018
	Predator - Herbivore	-3.3716	1.5382	-2.192	0.12
	Predator - Nectarivore	3.1681	2.0972	1.511	0.421
Grassland	Herbivore - Detritivore	6.1882	2.8546	2.168	0.128
	Nectarivore - Detritivore	-3.8309	3.21	-1.193	0.625
	Predator - Detritivore	0.3399	2.2622	0.15	0.998
	Nectarivore - Herbivore	-10.019	3.5962	-2.786	0.026
	Predator - Herbivore	-5.8482	2.7832	-2.101	0.148
	Predator - Nectarivore	4.1708	3.1467	1.325	0.503
SAF	Herbivore - Detritivore	6.009	4.155	1.446	0.58
	Nectarivore - Detritivore	-9.301	5.627	-1.653	0.445
	Parasitoid - Detritivore	-10.001	8.127	-1.231	0.719
	Predator - Detritivore	-9.721	4.346	-2.237	0.155
	Nectarivore - Herbivore	-15.31	5.893	-2.598	0.065
	Parasitoid - Herbivore	-16.01	8.313	-1.926	0.287
	Predator - Herbivore	-15.73	4.685	-3.357	0.006
	Parasitoid - Nectarivore	-0.7	9.138	-0.077	0.999
	Predator - Nectarivore	-0.42	6.029	-0.07	0.999
	Predator - Parasitoid	0.28	8.41	0.033	1

Tabla 6: Abundancias absolutas y relativas de los primeros 10 órdenes más importantes por su abundancia para cada tipo de uso del suelo

Grassland			SAF			Forest		
Order	Abundance Absolute	Abundance Relative	Order	Abundance Absolute	Abundance Relative	Order	Abundance Absolute	Abundance Relative
Hymenoptera	562	76.03%	Hymenoptera	1527	73.27%	Hymenoptera	654	75.78%
Crassiclitellata	57	7.85%	Colembola	328	15.74%	Coleoptera	54	6.26%
Trombidiformes	37	5.10%	Diptera	55	2.64%	Blattodea	34	3.94%
Araneae	17	2.34%	Araneae	34	1.63%	Araneae	26	3.01%
Isoptero	14	1.93%	Isoptero	29	1.39%	Diptera	18	2.09%
Coleoptera	12	1.65%	Oribatida	25	1.20%	Araneae	16	1.85%
hymenoptera	10	1.38%	Coleoptera	20	0.96%	Zygentoma	9	1.04%
Araneae	5	0.69%	Araneae	14	0.67%	Crassiclitellata	7	0.81%
Orthoptera	5	0.69%	Crassiclitellata	13	0.62%	Hemiptera	7	0.81%
Diptera	4	0.55%	Hemiptera	13	0.62%	Trombidiformes	7	0.81%

