

Universidad de Ciencias Y Artes de Chiapas

Facultad De Ingeniería

Sede Villa Corzo

**Análisis comparativo de la comunidad de fauna
edáfica entre fragmentos de bosque y sistemas
agroforestales de *Hylocereus undatus***

Tesis profesional

Como requisito para obtener el título de

Ingeniero Agroforestal



INGENIERÍA
AGROFORESTAL

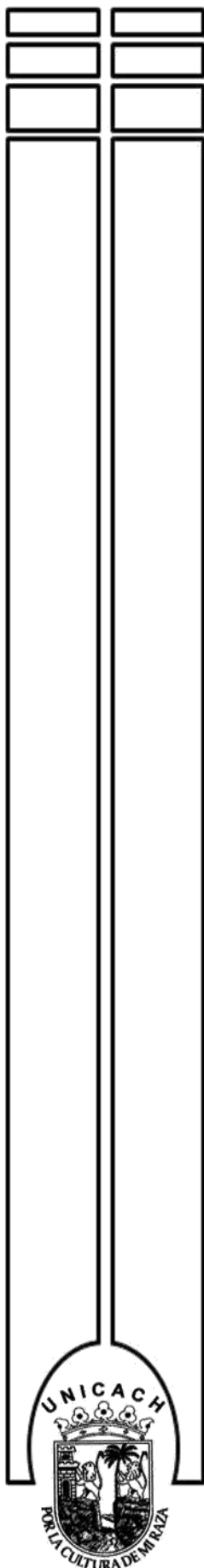
Presentan

Lizeth Adriana Ozuna Hernández

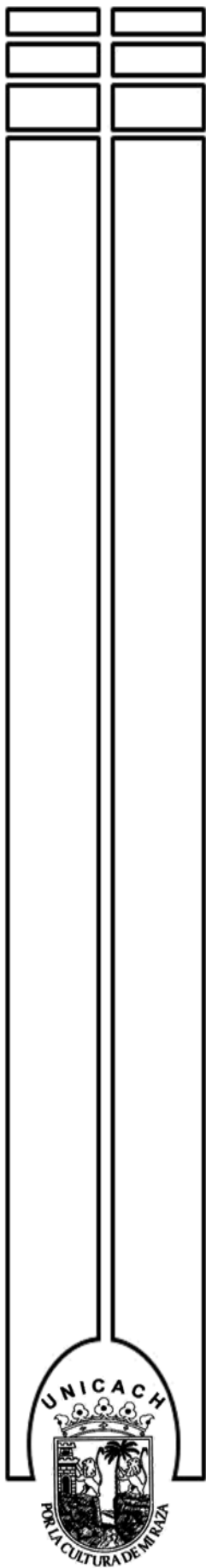
Julio Enrique Angel Astudillo

Director

Dr. Miguel Prado López



Villa Corzo, Chiapas; Octubre 2025



Universidad de Ciencias Y Artes de Chiapas

Facultad De Ingeniería

Sede Villa Corzo

**Análisis comparativo de la comunidad de fauna
edáfica entre fragmentos de bosque y sistemas
agroforestales de *Hylocereus undatus***

Tesis profesional

Como requisito para obtener el título de

Ingeniero Agroforestal

Presentan

Lizeth Adriana Ozuna Hernández

Julio Enrique Angel Astudillo

Director

Dr. Miguel Prado López

Villa Corzo, Chiapas; Octubre 2025

**Análisis comparativo de la comunidad de fauna
edáfica entre fragmentos de bosque y sistemas
agroforestales de *Hylocereus undatus***



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Villacorzo, Chiapas.
05 de Septiembre de 2025

C. Lizeth Adriana Ozuna Hernández

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Agroforestal

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Análisis comparativo de la comunidad de fauna edáfica entre fragmentos de bosque y sistemas
agroforestales de *Hylocereus undatus*

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

Mtro. Alder Gordillo Curiel

Dr. Vidal Hernández García

Dr. Miguel Prado López

Firmas:

Ccp. Expediente



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Villacorzo, Chiapas.
05 de Septiembre de 2025

C. Julio Enrique Angel Astudillo

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Agroforestal

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

Análisis comparativo de la comunidad de fauna edáfica entre fragmentos de bosque y sistemas agroforestales de *Hylocereus undatus*

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

Mtro. Alder Gordillo Curiel

Dr. Vidal Hernández García

Dr. Miguel Prado López

Firmas:

Ccp. Expediente

Agradecimientos

A Dios principalmente porque nunca me abandono en los momentos difíciles donde me ayudo a superar cada etapa y cada día derrama bendiciones en mi vida.

A mis seres queridos, cuyo apoyo y amor esta tesis no hubiera hecho posible:

A mis padres Uriel Ozuna Ruiz y Alondra Hernández Martínez, por su inalcanzable apoyo, guía y sacrificio. Su amor y dedicación han sido uno de mis motores y fuentes de inspiración.

A mis hermanos Lisandro Ozuna Hernández que está en el cielo, mi angelito que siempre me cuida. A mi hermanito Brayan Ozuna Hernández y mi hermanita Belén Ozuna Hernández, por su compañerismo, amor y apoyo incondicional. Han sido mi roca en los momentos difíciles y mi alegría en momentos de celebración.

A mis abuelos: abuelito Rosauro Ozuna López que está en el cielo, quien en momentos de vida me brindo su amor, consejos, apoyo y quien se siente orgulloso de lo que he logrado desde el cielo, a mi abuelita Isabel Ruiz Pérez, por brindar sus consejos y su amor.

A mi Esposo Julio Enrique Ángel Astudillo por brindar su apoyo en cada paso de mis sueños, por acompañarme en el proceso de mis sueños y metas.

Agradezco al Racho el “Brasil” por abrir las puertas para que este trabajo concluyera si ello no se hubiera hecho posible, pero en especial a Naima cárcamo por darme la oportunidad de realizar mis estudios de investigación en ese bonito lugar.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas por llevar mi impulso hacia adelante en aportar conocimientos, para ser una persona de provecho, a mis maestros, a mi asesor Dr. Miguel Prado López, por brindar su tiempo y dedicación en impulsar mi investigación.

Lizeth Adriana Ozuna Hernández

Agradecimientos

Agradecimiento primeramente a Dios por permitirme culminar la licenciatura y la investigación quien con su protección y ayuda me ha permitido llegar hasta estos momentos de mucha importancia en mi vida.

Un agradecimiento de igual manera a mis padres José Esteban Angel Damian y Ana María Astudillo Zoma quien con su gran amor y apoyo me permitieron seguir mis estudios y quienes en momentos difíciles y complicados me impulsaron a seguir adelante aun momentos en los que aun ni yo creía en mí y ellos fueron mi soporte y los que siempre creyeron en mi por eso y mucho más esta culminación de la investigación es para ustedes gracias.

A sí mismo un agradecimiento a mi querida esposa Lizeth Adriana Ozuna Hernández la cual fue fundamental su compañía y su gran apoyo incondicional la cual siempre me inspiro a seguir con la investigación y poder cumplir nuestros sueños y adjetivos que nos propusimos por tu compañía y gran amor muchísimas gracias.

De igual manera a la institución por brindarme la oportunidad de seguir con mis estudios y a todo el cuerpo académico que nos supieron brindar sus conocimientos para poder aprender cosas nuevas y de mucha importancia para el crecimiento académico.

Así también a mi asesor de tesis el Dr. Miguel Prado López al cual le estaré muy agradecido por todo el apoyo y sabias palabras que me inspiro a terminar la investigación.

Julio Enrique Angel Astudillo

Índice

I. Introducción.....	1
1.1 Importancia de la pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i>)	1
1.2 Fauna del suelo.....	2
1.3 Interacción planta-suelo	3
II. Planteamiento del problema.....	4
II. Justificación.....	5
IV. Objetivos.....	6
4.1 Objetivo general.....	6
4.2 Objetivos específicos.....	6
V. Hipótesis	6
VI. Metodología	7
6.1 Sitio de estudio.....	7
6.2 Diseño y toma de muestras en campo.....	8
6.3 Análisis de muestras en laboratorio	9
6.4 Tipo de muestra y análisis	10
VII. Resultados y Discusión.....	13
7. 1 Efecto de los árboles nativos y la estacionalidad sobre la riqueza y abundancia de gremios tróficos de la fauna del suelo.....	13
7.1.1 Efecto de los árboles nativos dispersos.....	13
7.1.2 Efecto de los árboles nativos sobre la composición de la comunidad de fauna del suelo.....	16
7.1.3 Índice de Jaccard y las familias más representativas en el cultivo de pitahaya	18

7.1.4 Efecto de la estacionalidad	20
7.1.5 Implicaciones para el cultivo de pitahaya	23
7.2 Cambios en la composición de la comunidad en Bosque y Pitahaya	25
7.2.2 Composición de la comunidad de fauna del suelo en Bosque y Pitahaya..	29
7.3 Resistencia a la penetración en el sitio pitahaya.....	31
VIII. Conclusiones	33
IX. Bibliografía.	34
X. Anexos	40

Índice de Figuras

Figura 1.Ubicación de lugar de muestreo en el Rancho El Brasil municipio de Suchiapa, Chiapas.	7
Figura 2.Efecto del ambiente y la temporada en la abundancia de diferentes gremios.	14
Figura 3.Abundancia media de organismos epígeos e hipogeos en ambientes.	15
Figura 4.Comparación de la abundancia media por gremios tróficos y temporada en el sitio pitahaya	21
Figura 5.Comparación de la abundancia media por formas de vida y temporada en el sitio pitahaya	22
Figura 6.Comparacion de la riqueza de organismos de la fauna del suelo por temporada en formas de vidas encontrados en el sitio pitahaya.....	23
Figura 7.Comparación de abundancia media de la fauna del suelo en temporada de estiaje y lluvia en los dos sitios de muestreo.....	26
Figura 8.Comparación de la abundancia media de la fauna del suelo de acuerdo a los gremios tróficos en ambos sitios.	27

Índice de Tablas

Tabla 1.Familias exclusivas y compartidas en condiciones microambientales de pleno sol y bajo árbol	17
Tabla 2.Familias Exclusivas y compartidas en la composición de Hipogeos y Epigeos	19
Tabla 3.Diversidad de detritívoros entre sitios.....	29
Tabla 4.Familias Exclusivas y compartidas para los sitios Bosque y Pitahaya	31

Resumen

Se investigó la diversidad de artrópodos presentes en el suelo de un sistema agroforestal, donde la pitahaya se encuentra en una plantación con un tutorado de plantas de mulato por todo el terreno de manera lineal, en el cual se conservaron árboles nativos que se encontraban dispersos en el predio para la conservación faunística. El estudio se hizo en Suchiapa, Chiapas en un predio llamado El Brasil. El objetivo del trabajo fue conocer la riqueza y abundancia de la comunidad de gremios tróficos de artrópodos considerando la temporada de lluvia y estiaje además de tener presente bajo sol y sombra. Se realizaron 10 transectos con monolitos y trampas de caída (Pitfall) de forma en zigzag en todo el terreno, cada transecto cuenta con una distancia de 15 m. el punto 0 m. se empezó con una trampa de caída y a los 3m, un monolito y así sucesivamente hasta llegar a los 15 m. las trampas de caída se dejaron por 3 días para la recolección de insectos. Los insectos extraídos se conservaron en frascos con alcohol al 70% que fueron llevados al laboratorio de la UNICACH sede Villa Corzo donde se observaron con un estereoscopio microscopio y se identificaron a nivel familia y su función que desempeña como grupo funcional.

Palabras clave

Hylocereus undatus, sistemas agroforestales, Servicios ecosistémicos, Fauna edáfica.

I. Introducción

1.1 Importancia de la pitahaya (*Hylocereus undatus*)

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una planta epífita de la familia cactaceae, originaria de América (Martínez, 2020). En México se distribuye en 21 estados que contienen cultivos de pitahaya en donde se encontraron cuatro especies de pitahaya los cuales son: *H. ocamponis*, *H. purpusii*, *H. undatus* e *H. aff. esculentensis*. Jalisco, Chiapas y Oaxaca tienen el mayor número de registros y junto con Michoacán y Guerrero son los de mayor riqueza. Los cuatro se desarrollan en la Costa Pacífica Mexicana mientras *H. purpusii*, *H. ocamponis* y *H. undatus* confluyen en el Eje Volcánico Transmexicano. *Hylocereus aff. esculentensis* e *H. undatus* convergen en la provincia de Chiapas (García-Rubio et al., 2015).

Dado que *H. undatus* es una cactácea trepadora, su cultivo suele estar asociado a especies arbóreas que sirven de tutores lo que lo convierte a este cultivo en un sistema agroforestal (Castro Gámez, 2021; Mendieta et al, 2007). Se ha observado que este tipo de producción agroforestal tiene mayor rentabilidad que otras alternativas agrícolas, ya que además de tener alto valor económico, también generan beneficios ambientales y sociales para las comunidades rurales y para la sociedad (Current, D.1997). Específicamente en la parte ambiental, los sistemas agroforestales proveen servicios ecosistémicos como protección y formación de suelo, provisión de maderaleña, regulación de clima, provisión de alimentos, belleza escénica, fijación de dióxido

de carbono y regulación de la calidad del agua y aire (Ricardo Russo, 2013; Casanova Lugo, 2016).

1.2 Fauna del suelo

La macrofauna del suelo son organismos que viven una parte o toda su vida en el suelo, ya sea en la superficie, en la hojarasca o en troncos caídos degradados parcialmente (Masin, 2017). La fauna del suelo incluye animales de entre 1 a 30 mm de tamaño (Gongalsky, 2021). Se clasifica según su hábito alimenticio y su contribución al ecosistema en diferentes gremios como, detritívoros, fungívoros, herbívoros, depredadores y omnívoros (Cabrera Dávila, 2017). Estos grupos son reguladores del proceso trófico del medio edáfico, al ayudar en la formación de la microestructura con sus aportes de deyecciones, excreciones, secreciones y con sus propios cadáveres (Socarrás, 2013).

Estos artrópodos cumplen una función importante en los sistemas agroforestales por la provisión de diferentes tipos de servicios ecosistémicos como la polinización, regulación de plagas herbívoras, descomposición de la materia orgánica y la herbivoría de plantas invasoras (Salom Abenza, 2022; Suárez Salazar, 2015). También son importantes para la transformación de la materia orgánica y para el mantenimiento de propiedades físicas y químicas del suelo, incluso establecen canales y poros para favorecer la aireación, drenaje, estabilidad de agregados y retención de agua por ello se consideran como ingenieros del suelo y ecosistema, también participan en el secuestro y liberación de carbono (Cabrera Dávila, 2017).

1.3 Interacción planta-suelo

La distribución y abundancia de la fauna del suelo está determinada por las características de los ecosistemas relacionadas con la disponibilidad de nutrientes, alimento, la textura y la porosidad del suelo, la retención de agua y la presencia y abundancia de depredadores y parásitos (Porres et al., 2014). Por ejemplo, se ha encontrado que en sistemas agroforestales existe mayor riqueza y abundancia de invertebrados con respecto a suelos con pasturas. Esto se debe al aporte de hojarasca de las especies arbóreas que crea un microclima (Suárez Salazar et al., 2015).

La relación entre la fauna del suelo y el componente vegetativo de un ecosistema suele ser determinante para la provisión de servicios ecosistémicos. Por ejemplo, en sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao*), la inclusión de árboles provee mayor cantidad de hojarasca, cobertura en dosel, diversidad de recursos y una variación de condiciones microclimáticas de temperatura y humedad propicias para favorecer una comunidad diversa de macrofauna del suelo (Zegada Herbas, 2020).

Los árboles nativos pueden ofrecer recursos y hábitats más complejos y diversos en comparación con áreas desprovistas de vegetación arbórea. Esto se debe a que incrementan la materia orgánica a través de la hojarasca y otras partes vegetales, lo que favorece la creación de microambientes óptimos para la fauna del suelo. Estos entornos proporcionan refugio, sitios de reproducción y estructuras como troncos caídos, ramas y hojarasca, que sirven de alimento y protección para diversas especies. Además, se promueve un ciclaje de nutrientes más eficiente, acompañado de la fijación biológica de nitrógeno y una mayor disponibilidad de nutrientes en formas

solubles, gracias a la actividad de micorrizas y bacterias que solubilizan fosfato (Mendieta, 2007).

II. Planteamiento del problema

La agricultura industrial y de altos insumos han comprometido la fertilidad del suelo y la conservación de la biodiversidad, por lo que las plantaciones bajo manejo agroforestal se presentan como alternativa de solución para la producción sustentable de alimentos. En este sentido, es necesario conocer el impacto de diferentes sistemas de producción en la conservación de la biodiversidad en ecosistemas medianamente conservados. Por lo tanto, en este estudio se pretende comparar la composición de la comunidad macrofauna del suelo con bosques secundarios para identificar los cambios de usos del suelo en los grupos funcionales de la fauna edáfica del suelo. Identificar estos cambios en la estructura de la comunidad nos permitirá diseñar estrategias de manejo que ayuden la recuperación de los gremios tróficos afectados que se pierdan con respecto a sitios conservados.

Por otro lado, se sabe poco sobre el impacto de los árboles dispersos en la dinámica de la comunidad de macrofauna del suelo. Ha sido difícil conocer si este impacto de los árboles es positivo o negativo y si la identidad de las especies tiene un efecto diferencial sobre la fauna del suelo. Esta falta de conocimiento limita nuestra comprensión de los procesos ecológicos subyacentes y de los servicios ecosistémicos que la fauna del suelo puede proporcionar en este contexto.

II. Justificación

Este trabajo se elaboró con el propósito de poder demostrar la importancia de los sistemas agroforestales para la comunidad de invertebrados de la macrofauna edáfica. Estos sistemas generan una gran riqueza y diversidad que provee beneficios ambientales y tienden a tener mayor productividad gracias a los gremios tróficos. Así mismo, contribuyen en mejorar la calidad del suelo, lo cual es fundamental para abordar estas brechas de conocimiento para desarrollar estrategias de manejo más efectivas y sostenibles. Esto permitirá promover prácticas de manejo que conserven y mejoren la biodiversidad, los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos en estos agroecosistemas.

Comprender los cambios en la composición y abundancia de diferentes grupos funcionales de artrópodos en estaciones de lluvia y sequía permitirá identificar momentos críticos en los que se requieren medidas de manejo específicas. Por ejemplo, la presencia de depredadores es fundamental durante la etapa de fructificación para controlar posibles brotes de insectos plagas.

Evaluar el efecto de los árboles nativos dispersos sobre la comunidad de la fauna del suelo proporcionará información para el diseño de sistemas agroforestales más resilientes y biodiversos. La presencia de árboles nativos puede crear microhábitats y proporcionar recursos alimentarios adicionales para los artrópodos, lo que potencialmente aumenta la diversidad y abundancia de especies benéficas. Comprender cómo la identidad de los árboles influye en la comunidad de fauna del

suelo permitirá seleccionar especies arbóreas adecuadas que promuevan la presencia de polinizadores, depredadores y otros artrópodos beneficiosos.

IV. Objetivos.

4.1 Objetivo general.

Describir los cambios en la comunidad de la fauna edáfica asociados al cambio de uso del suelo de bosque a sistema agroforestal de pitahaya.

4.2 Objetivos específicos.

1. Evaluar el efecto de la sombra de árboles nativos sobre la composición y diversidad de la comunidad de la fauna edáfica en cultivos de *Hylocereus undatus*.
2. Determinar la variación estacional de gremios tróficos de fauna del suelo en cultivo de *Hylocereus undatus*.
3. Identificar grupos funcionales o familias de la fauna edáfica que cambian entre fragmentos de bosque y sistemas agroforestales de pitahaya.

V. Hipótesis

1. Se espera que la presencia de árboles aumente la diversidad, abundancia y riqueza de especies de la fauna del suelo en comparación con áreas sin árboles.
2. Se espera que diferentes especies de árboles nativos proporcionen distintos recursos y hábitats para la fauna del suelo.

VI. Metodología

6.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Rancho “El Brasil” ubicado en el municipio de Suchiapa, Chiapas (16°36'08"N 93°05'53"W), donde se encuentra un sistema agroforestal de cultivo de pitahaya (Figura 1). Este sitio se localiza con una altitud de 476 m.s.n.m, cuenta con un clima cálido húmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 800 - 1 500 mm, temperatura media anual de 20 – 26°C. El tipo de suelo que se predominan es de Lepsol (67.77%), Vertisol (10.21%), Luvisol (7.38%), Phaeozem (6.42%), Regosol (5.67%) y Fluvisol (0.58%). Cuenta con selva (37.03%) y bosque (12.41) la mayor parte de uso del suelo lo usan para la agricultura (34.04), pastizal cultivado (14.55) y zona urbana de (1.97%) (INEGI, 2010).

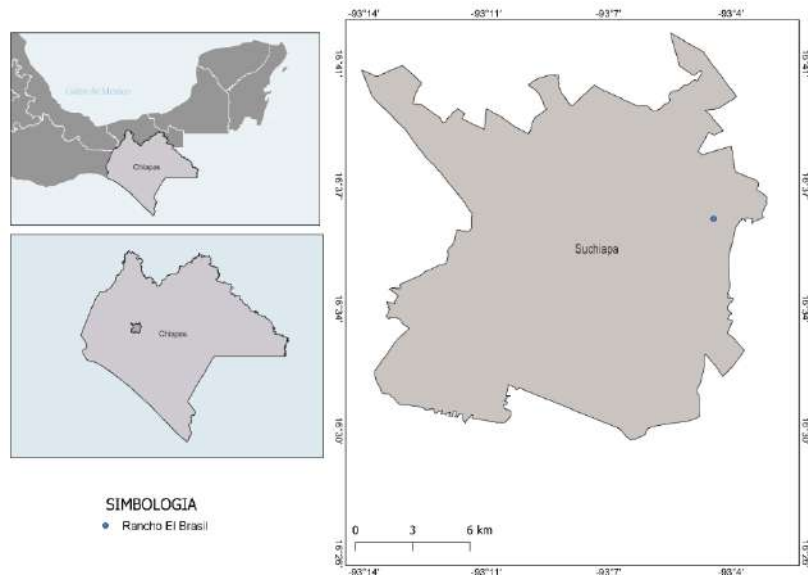


Figura 1. Ubicación de lugar de muestreo en el Rancho El Brasil municipio de Suchiapa, Chiapas.

El sistema agroforestal cuenta con una superficie de 3 ha, está compuesto por tutores vivos de *Bursera diversifolia* como soporte para el cultivo de *Hylocereus undatus*. Los árboles de tutores llevan una poda de limpieza por lo menos una vez por año. Además de los árboles tutor en el predio, también hay árboles tolerados por los productores para la provisión de algunos bienes y servicios. El sitio se le da un manejo agroecológico con la inclusión de cultivos intercalados como *Cannavalia ensiformis* como fijadora de nitrógeno, *Tajetes lucida* como atrayente de enemigos naturales, diversas variedades de *Cucurbita pepo* como control de arvenses. Además, se aplican abonos orgánicos como composta y diversos tipos de bioles.

6.2 Diseño y toma de muestras en campo.

Para describir la comunidad de organismos del suelo se realizaron monolitos con dimensiones de 20 cm x 20 cm x 20 cm de donde se extrajeron manualmente todos los organismos de la macrofauna del suelo y se utilizaron trampas de caída, que se establecieron a lo largo de 10 transectos de 15 m cada uno. Los transectos se establecieron siguiendo un patrón de zigzag a lo largo de toda la plantación. En cada transecto se establecieron tres trampas de caída y tres monolitos, separados entre sí por 5 m, dando un total de 3 monolitos y 3 trampas de caída. Las trampas de caída (pitfall) consisten en recipientes de plástico (10 oz) con 100 ml de agua con detergente y sal, las cuales enterradas en a la misma superficie del suelo donde permanecieron por 72 hrs, transcurrido este tiempo se procedía a la colecta y se cambiaba el contenido del recipiente para una nueva recolecta, este proceso de recolecta se realizó en la temporada de estiaje y lluvia. En el caso, donde los monolitos o las trampas de caída

que estuvieran bajo la influencia del dosel de algunos de los árboles dispersos, se registró la especie de árbol para posteriormente relacionar la diversidad y composición de la fauna del suelo con la presencia de los árboles dispersos (Martínez-Encino *et al.*, 2013).

Para determinar el nivel de compactación del suelo en cuatro puntos a lo largo de cada transecto, se utilizó un penetrómetro de cono dinámico en el cultivo de pitahaya. Los puntos de medición estaban separados por 3 metros entre sí, a profundidades de 10 cm y 20 cm.

Como sitio control de referencia se evaluó un bosque caducifolio cercano (N 16°37'20", O 93°6'7") donde se realizaron los mismos procedimientos en la recolecta de macrofauna del suelo.

Todos los artrópodos se colocaron en frascos con alcohol al 70% para su conservación hasta su identificación; cada frasco fue etiquetado en donde contenía el sitio de estudio, tipo de ambiente, número de muestra y fecha de la recolección.

6.3 Análisis de muestras en laboratorio

En el laboratorio, las muestras obtenidas de la fauna del suelo se procedieron a sacar los especímenes de los frascos donde se vaciaron individualmente en cajas Petri, colocando las etiquetas de cada muestra, de manera que no se perdiera la información de las recolectas en campo. Con ayuda de las pinzas de disección se realizó la

separación de los insectos capturados. Los ejemplares capturados durante las temporadas de muestreo fueron puestos bajo a estereoscopio para la clasificación e identificación taxonómica de la fauna del suelo. Por lo cual se identificó primero a nivel de orden y posterior para identificar estructuras específicas para determinar las familias taxonómicas con la ayuda de claves taxonómicas de Lorus J. Milne, M. M, 2007. Todos los organismos se clasificaron de acuerdo a los gremios tróficos, en el laboratorio de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas subsede Villa Corzo, Chiapas.

6.4 Tipo de muestra y análisis

Se evaluó el efecto de los árboles sobre la abundancia y riqueza de la fauna del suelo en cultivos de pitahaya, considerando la interacción con temporalidad, gremios tróficos y formas de vida (hipogeos y epigeos). Asimismo, se comparó la composición de la comunidad entre micrositios bajo sombra de árboles nativos y pleno sol mediante el índice de Jaccard. Posteriormente, se realizó una comparación adicional entre los sitios bosque y sistema agroforestal de *Hylocereus undatus* para determinar los cambios en abundancia, riqueza y composición de la comunidad de fauna del suelo entre diferentes condiciones de disturbio.

Para evaluar los efectos principales y las interacciones entre las variables bióticas y abióticas como Temporada (lluvia y estiaje), Ambiente (sol y sombra), Gremio trófico (detritívoros, herbívoros, nectarívoros y depredadores) y Formas de vida (epígeas e hipogeas) sobre la fauna del suelo, se realizó un análisis de varianza modelo lineal generalizado, GLM (SAS Institute, 1982).

Para conocer la riqueza o abundancia de la diversidad del suelo, se evaluaron siguiendo la metodología para calcular los índices de diversidad de Shannon y Simpson (Shannon, 1949; Simpson, 1949).

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \mathcal{P}i \ln \mathcal{P}i$$

donde:

- S – número de especies (la riqueza de especies)
- $\mathcal{P}i$ – proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (decir la abundancia relativa de la especie i): $\frac{n_i}{N}$
- n_i – número de individuos de la especie i
- N – número de todos los individuos de todas las especies

La fórmula del índice de Simpson es la siguiente:

$$\mathcal{D} = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

- S es el número de especies
- N es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)
- n es el número de ejemplares por especie

Para evaluar la similitud en la composición de familias entre dos sitios se utilizó el Índice de similaridad de Jaccard: varía entre 0 y 1, donde 0 indica ninguna similitud y 1 indica similitud completa.

La fórmula del índice de Jaccard es:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Donde:

- $|A \cap B|$ es el tamaño de la intersección de los conjuntos A y B (elementos comunes a ambos conjuntos).
- $|A \cup B|$ es el tamaño de la unión de los conjuntos A y B (todos los elementos únicos en ambos conjuntos).

VII. Resultados y Discusión

7. 1 Efecto de los árboles nativos y la estacionalidad sobre la riqueza y abundancia de gremios tróficos de la fauna del suelo

7.1.1 Efecto de los árboles nativos dispersos

La presencia de los árboles por sí misma, no tiene un efecto significativo en la abundancia ($X^2=880.35$, $gl=1$, $P= 0.125$, Tabla A1), ni en la riqueza de los organismos del suelo ($X^2=20.09$, $gl=1$, $P= 0.175$, Tabla A2). Sin embargo, este resultado no implica que los árboles no tengan influencia, ya que su efecto se refleja en interacciones clave. En particular, la interacción entre el efecto del árbol y los gremios tróficos ($\chi^2 = 30.45$, $gl = 3$, $P < 0.001$, A1) destacó que los herbívoros fueron significativamente más abundantes bajo sombra en comparación con áreas a pleno sol (Figura 2). Esto sugiere que los árboles proporcionan un microclima más favorable y una mayor acumulación de materia orgánica que beneficia a estos organismos (Salgado Luarte, 2010). Por otro lado, los detritívoros mostraron una ligera tendencia a ser más abundantes a pleno sol, lo que podría reflejar una mayor actividad de estos organismos en áreas menos sombreadas (Prather & Belovsky, 2019).

Esto se reafirma si se toma en cuenta que los detritívoros están muy bien representados por las hormigas la presencia del árbol, en temporada de lluvias, fomenta mayor abundancia específicamente de herbívoros y depredadores (Tabla A1), mostrando una posible respuesta de estos dos grupos, a una mayor disponibilidad de recursos en ambientes sombreados y húmedos.

Por el contrario, a pleno sol y en época seca los detritívoros son el único gremio trófico con mayor abundancia (15.2 ± 3.5) con respecto a condiciones bajo árbol (8.6 ± 4.2 , Figura 2). Los nectarívoros tuvieron una abundancia en general más baja, sin mostrar variaciones significativas entre temporadas o condiciones de sombra/sol.

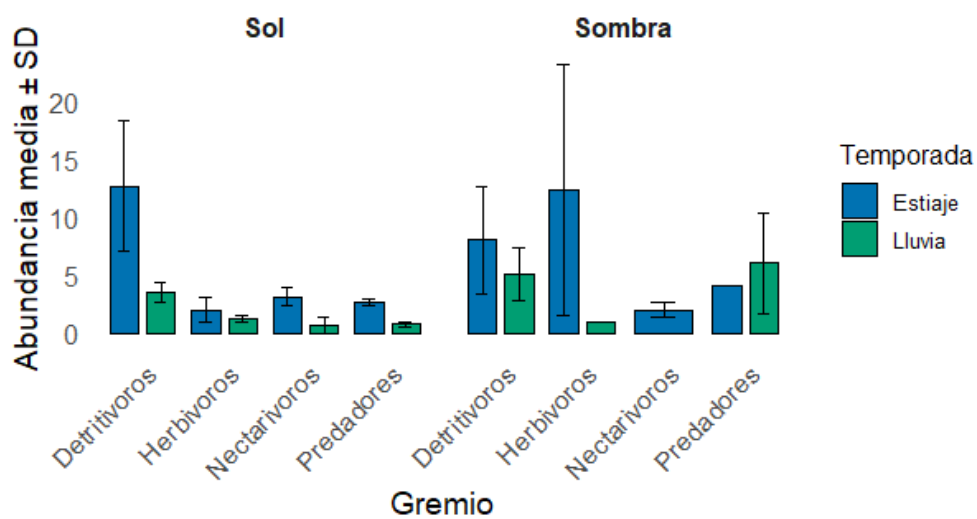


Figura 2. Efecto del ambiente y la temporada en la abundancia de diferentes gremios.

La interacción entre el efecto del árbol y las formas de vida ($\chi^2 = 11.01$, $gl = 1$, $P < 0.001$, Tabla A1) reveló que los organismos hipogeos fueron más comunes bajo la sombra de los árboles, mientras que los epigeos predominaron en áreas expuestas (Figura 3). Esto refuerza la hipótesis de que los árboles generan condiciones más

estables en el suelo, favoreciendo a los organismos que dependen de la humedad subterránea. Estos resultados sugieren que los árboles actúan como refugios para los organismos subterráneos al proporcionar un entorno más estable frente a las fluctuaciones microclimáticas. En cuanto a los efectos del árbol sobre la abundancia de diferentes formas de vida (hipogeos y epígeos) se encontró que los árboles no tuvieron un efecto debido a que no se encontraron diferencias de abundancia bajo el árbol ($\approx 6.0 \pm 2.5$) y a pleno sol ($\approx 6.5 \pm 2.0$) (Figura 3). Esto sugiere que los organismos epigeos son resilientes a la radiación solar y mantienen su actividad independientemente del nivel de cobertura arbórea. Esta resiliencia también está confirmada por la temporalidad, debido a que los epigeos fueron significativamente más abundantes durante la época seca ($\approx 9 \pm 3.0$) con respecto a la temporada de lluvias ($\approx 3 \pm 1.5$). En cambio, los organismos hipogeos, son más sensibles a los cambios de humedad, por lo que la presencia del árbol está relacionada con mayor abundancia bajo sombra ($\approx 4.5 \pm 1.5$) en comparación con el sol ($\approx 2.0 \pm 0.8$).

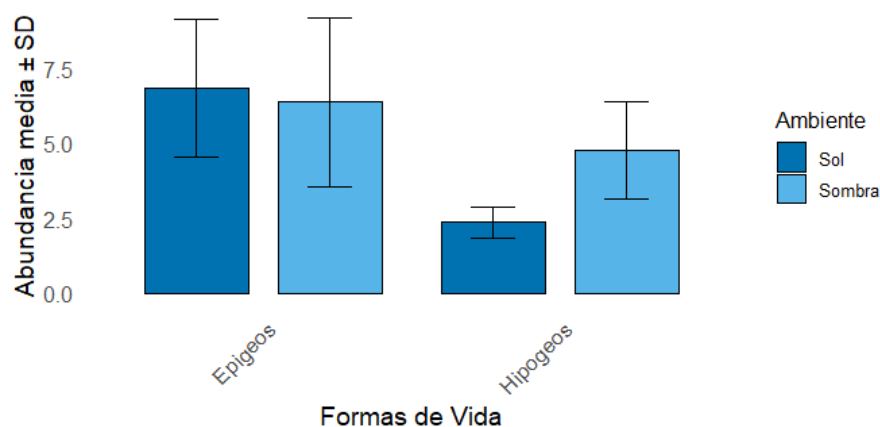


Figura 3. Abundancia media de organismos epígeos e hipogeos en ambientes.

7.1.2 Efecto de los árboles nativos sobre la composición de la comunidad de fauna del suelo

En cuanto a la composición de la comunidad de fauna del suelo bajo árboles y a pleno sol, se encontró un valor de Jaccard = 0.68, que sugiere diferencias importantes en la composición de familias entre los ambientes y refleja una alta disimilitud (68%) entre las familias a pleno sol y bajo árbol. La alta disimilitud entre condiciones ambientales de pleno sol y bajo árboles refleja la especialización de la comunidad de familias en cada ambiente. Esto significa que pocas familias se comparten entre ambientes, con una mayor especialización y diferenciación en cada condición microclimática, en donde las diferencias de disponibilidad de recursos en cada ambiente seleccionan familias distintas (Chamorro-Martínez et al., 2022).

En condiciones de pleno sol se encontraron 17 familias que no están presentes en sombra. En este micrositio predominan familias con mayor tolerancia a condiciones de alta luminosidad y sequía como Halictidae (polinizadores), Cicadellidae (herbívoros) y Reduviidae (depredadores) (Tabla 1).

Bajo los árboles se registraron 6 familias exclusivas que incluyen grupos como Blattidae (detritívoros), Julidae (detritívoros) y Geometridae (herbívoros). Este microclima ofrece condiciones más húmedas, más frescos y estables, favoreciendo grupos asociados a descomposición y microclimas.

En cuanto a las familias compartidas entre sol y sombra, se registraron 11 donde destacan Formicidae (detritívoros oportunistas), Scarabaeidae (detritívoros) y Vespidae (depredadores). La presencia de estas familias en ambos ambientes indica su plasticidad ecológica y capacidad para colonizar diversos microhábitats.

Tabla 1. Familias exclusivas y compartidas en condiciones microambientales de pleno sol y bajo árbol

Pleno Sol	Bajo Árbol	Compartidas
Halictidae	Blattidae	Salticidae
Bethylidae	Scoliidae	Formicidae
Lepismatidae	Colletidae	Vespidae
Cicadellidae	Thomisidae	Andrenidae
Adrenidae	Geometridae	Mutillidae
Miridae	Julidae	Geophilidae
Apidae		Lumbricidae
Japygidae		Tenebrionidae
Muscidae		Acrididae
Oxyopidae		Zorotypidae
Cicadidae		Scarabaeidae
Chaoboridae		
Culicidae		
Artididae		
Chrysopidae		
Cryptopidae		
Reduviidae		

De las familias exclusivas de pleno sol Halictidae y Apidae son cruciales para la polinización. De la misma manera la familia Reduviidae contribuye al control de plagas, por lo que el manejo del cultivo debe incluir prácticas que mantengan estos grupos, como la diversificación de flora y la protección de hábitats abiertos.

La presencia de árboles en el cultivo de la pitahaya promueve la presencia de familias de detritívoros clave como Julidae y Blattidae, que mejoran la estructura del suelo y el reciclaje de nutrientes (Juanacio et al., 2024). Mantener estas áreas sombreadas puede potenciar procesos edáficos y mejorar la salud del suelo.

7.1.3 Índice de Jaccard y las familias más representativas en el cultivo de pitahaya

El índice de Jaccard de 0.8 entre Hipogeos y Epigeos indica una alta disimilitud (80%) entre las dos comunidades de organismos. Existe un bajo solapamiento entre las familias hipogeas (subterráneas) y epigeas (superficiales). Solo 8 familias compartidas aparecen en ambos ambientes, mientras que un número considerable de familias es único para cada forma de vida (Tabla 2). Esta alta disimilitud indica que las comunidades hipogeas y epigeas cumplen roles ecológicos diferentes, por ejemplo, las familias Tenebrionidae y Lumbricidae participan en la descomposición de materia orgánica y Julidae y Cryptopidae mejoran la estructura y la fertilidad del suelo, contribuyen a la aireación del suelo, formación de agregados y reciclaje de nutrientes.

En cambio, entre los organismos Epigeos, las familias Reduviidae, Oxyopidae, Chrysopidae son depredadores importantes que ayudan en el control biológico, mientras que Vespidae, Apidae y Halictidae son fundamentales para la polinización. La presencia de 8 familias compartidas (Salticidae, Formicidae, Lumbricidae) sugiere que estos organismos tienen plasticidad ecológica y pueden ocupar tanto ambientes subterráneos como superficiales, adaptándose a cambios microambientales.

Tabla 2. Familias Exclusivas y compartidas en la composición de Hipogeos y Epigeos

Hipogeos	Epigeos	Compartidas
Japygidae	Vespidae	Salticidae
Julidae	Bethylidae	Formicidae
Geophilidae	Cicadellidae	Halictidae
Cicadidae	Adrenidae	Lumbricidae
Cryptopidae	Andrenidae	Zorotypidae
	Apidae	Lepismatidae
	Miridae	Scarabaeidae
	Mutillidae	Tenebrionidae
	Blattidae	
	Muscidae	
	Scoliidae	
	Colletidae	
	Oxyopidae	
	Chaoboridae	
	Culicidae	
	Artididae	
	Acrididae	
	Geometridae	
	Chrysopidae	
	Reduviidae	
	Thomisidae	

En este estudio, la familia Formicidae es la mejor representada en el grupo de los detritívoros, el hecho de que los detritívoros sean más abundantes en condiciones de sol y en época seca podría indicar que están bien adaptados a las condiciones secas y resaltan su importancia en la descomposición de materia orgánica durante períodos secos. Estos organismos son tolerantes a la sequía y al calor debido a su capacidad de regular la humedad dentro de sus nidos y realizar forrajeo en períodos frescos del

día (Gordon et al, 2023). Por otro lado, en ambientes soleados y secos, la descomposición puede ralentizarse, lo que acumula materia orgánica superficialmente, beneficiando a las hormigas detritívoras, que encuentran recursos alimenticios más abundantes en estas condiciones (Thakur, et al, 2017).

Al mismo tiempo, la ausencia de sombra reduce la diversidad y abundancia de depredadores, permitiendo el crecimiento sin restricciones de las poblaciones de hormigas. Y finalmente, los suelos expuestos al sol suelen presentar mayores temperaturas y menor humedad (Rodríguez-Beltrán sin publicar), lo que limita la actividad de otros grupos detritívoros como lombrices, isópodos o diplópodos, favoreciendo a organismos más generalistas como las hormigas. Estas ventajas competitivas, les hacen ser dominantes en estas condiciones, con respecto a otro tipo de organismos.

7.1.4 Efecto de la estacionalidad

La estacionalidad tuvo un efecto significativo sobre la abundancia general de fauna edáfica ($\chi^2 = 83.27$, $gl = 1$, $P < 0.001$), con mayores valores observados durante la temporada de estiaje. Los gremios tróficos también respondieron diferencialmente a la estacionalidad (Figura 4, $\chi^2 = 35.76$, $gl = 3$, $P < 0.001$), destacando la dominancia de los detritívoros durante el estiaje. En contraste, los depredadores aumentaron significativamente durante las lluvias, reflejando una mayor disponibilidad de recursos tróficos en estas condiciones.

Asimismo, las formas de vida mostraron un patrón marcado de diferenciación entre temporadas (Figura 5, $\chi^2 = 85.94$, $gl = 1$, $P < 0.001$). Los organismos epigeos fueron más abundantes durante el estiaje ($\approx 9 \pm 3.0$) con respecto a lluvias ($\approx 3 \pm 1.5$). De la misma manera, la abundancia de hipogeos fue mayor en la temporada de lluvias ($\approx 4 \pm 1.5$) en comparación con el estiaje ($\approx 2 \pm 1.0$).

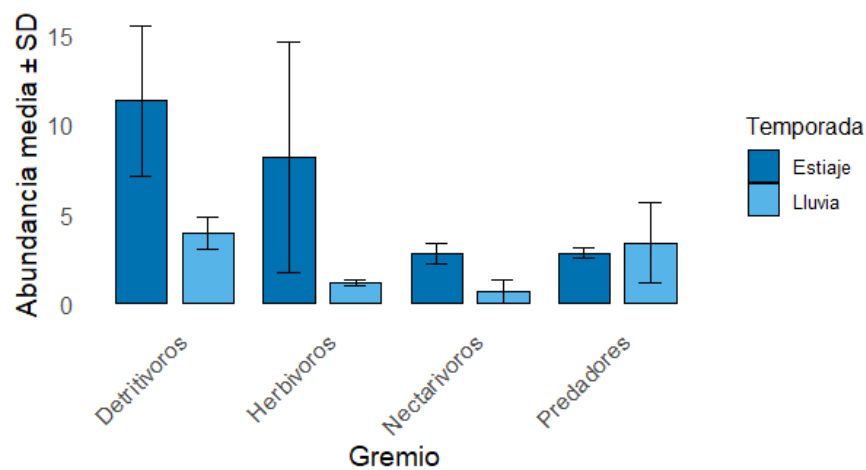


Figura 4. Comparación de la abundancia media por gremios tróficos y temporada en el sitio pitahaya

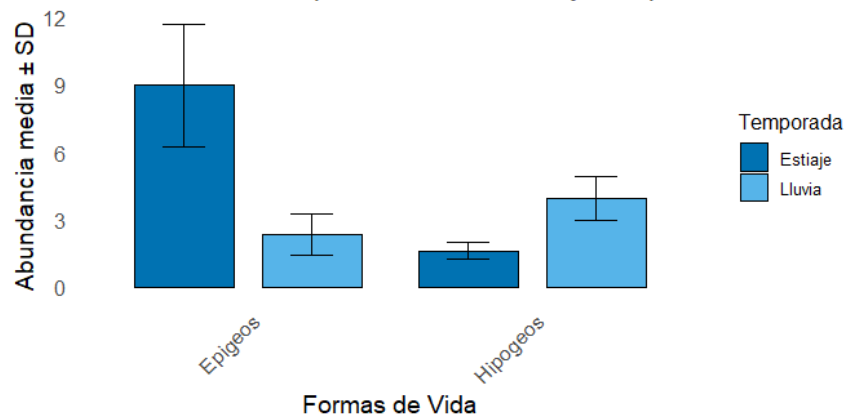


Figura 5. Comparación de la abundancia media por formas de vida y temporada en el sitio pitahaya

La riqueza de familias en el suelo muestra una interacción significativa entre la estacionalidad (lluvia y estiaje) y las formas de vida (hipogeos y epígeos) ($X^2=5.60$, $GL=1$, $P<0.018$; Tabla A2). Reflejando que, durante la temporada de lluvia, la riqueza de familias de organismos hipogeos es notablemente mayor (promedio $\approx 4 \pm 1$) en comparación con la temporada de estiaje, donde disminuye drásticamente. Esto sugiere que los organismos hipogeos dependen en gran medida de la humedad del suelo para mantener su diversidad. Por otro lado, los organismos epígeos presentan una riqueza superior en ambas temporadas, aunque es ligeramente mayor durante el estiaje ($\approx 5 \pm 2$), mostrando una variación estacional de organismos (Figura 6). Estos patrones indican que los organismos epígeos son más resilientes a las condiciones secas, mientras que las formas hipogeas dependen en mayor medida de la humedad del suelo.

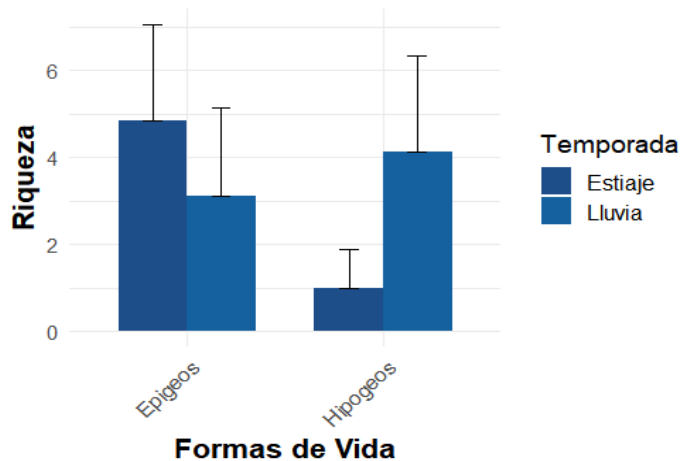


Figura 6. Comparación de la riqueza de organismos de la fauna del suelo por temporada en formas de vidas encontrados en el sitio pitahaya.

7.1.5 Implicaciones para el cultivo de pitahaya

La presencia de árboles nativos dispersos en plantaciones de pitahaya puede regular la temperatura del suelo, aumentar la humedad y favorecer una mayor diversidad de detritívoros, equilibrando las funciones ecosistémicas (Pardon *et al*, 2019). Esto reduciría el dominio de Formicidae y promovería la actividad de otros grupos hipogeos como lombrices o coleópteros detritívoros. Debido a que las hormigas podrían estar desplazando a otros organismos polinizadores y depredadores de plagas (Thurman *et al*, 2019), se sugiere incrementar la cobertura vegetal del suelo con leguminosas o cultivos de cobertura en la época seca, de tal manera que se pueda reducir el impacto de la radiación solar sobre la fauna del suelo y aumentar la humedad beneficiando a otros grupos de detritívoros y diversificando las interacciones tróficas.

En contraste, herbívoros y depredadores mostraron notables abundancias bajo sombra durante la temporada de lluvia, lo que indica una dependencia de condiciones microclimáticas favorables. En este caso, en la plantación de pitahaya, los árboles nativos dispersos podrían estar creando condiciones más estables de temperatura y humedad que favorecieron la abundancia de herbívoros y depredadores en la temporada húmeda promoviendo un equilibrio ecológico y mejorando las condiciones para el desarrollo de redes tróficas más complejas (Staab y Schuldt, 2020).

La mayor actividad de herbívoros en condiciones sombreadas durante la temporada de lluvias podría aumentar el riesgo de daño directo a las plantas (alimentación de tejidos vegetales), lo cual afectaría negativamente el rendimiento del cultivo. Sin embargo, la presencia de depredadores puede contrarrestar el efecto negativo de los herbívoros al proveer control biológico natural.

Estos resultados destacan la importancia de los árboles dispersos en el manejo agroforestal de pitahaya, al crear microhábitats diferenciados que favorecen distintos gremios tróficos, lo que puede mejorar las funciones ecosistémicas como el reciclaje de nutrientes y el control biológico. La implementación de sistemas de sombra parcial podría equilibrar la diversidad funcional del suelo y aumentar la sostenibilidad del cultivo. Adicionalmente, es sabido que los árboles mejoran la salud del suelo al favorecer procesos como el reciclaje de nutrientes y la retención de humedad, lo que podría contribuir a una mayor productividad en el mediano-largo plazo.

Debido a que la presencia de árboles puede afectar la productividad de las pitahayas, se establecen recomendaciones entre los beneficios ecológicos de los árboles nativos

dispersos y los impactos sobre la productividad de las pitahayas, para minimizar esto, se propone (Patra, 2022; Dagar & Tewari, 2017):

1. Ajustar la densidad y ubicación de los árboles nativos para permitir suficiente radiación solar para las pitahayas, pero al mismo tiempo conservar islas con microclimas sombreados que favorecen la biodiversidad edáfica.
2. Utilizar árboles de copas menos densas o especies que no generen sombra excesiva sobre la pitahaya.
3. Incorporar cultivos de cobertura o leguminosas de porte bajo que aumenten la humedad y disminuyan la temperatura del suelo, especialmente en el época seca.
4. Incentivar el establecimiento de especies arbóreas leguminosas que además de proveer sombra, mejoran la fertilidad del suelo.
5. Manejar la densidad y disposición de los árboles y la cobertura de copa para maximizar los beneficios ecosistémicos sin comprometer la productividad del cultivo.
6. Mantener fragmentos de bosque cercanos al cultivo para conservar grupos funcionales clave y permitir procesos ecológicos complementarios como la dispersión de especies y la regulación natural.

7.2 Cambios en la composición de la comunidad en Bosque y Pitahaya

Las comparaciones de abundancia de organismos del suelo entre Bosque y Pitahaya mostraron diferencias significativas únicamente asociadas a la temporalidad ($\chi^2 = 5.48$, GL = 1, $P < 0.05$; Figura 7) y al gremio trófico ($\chi^2 = 49.62$, GL = 3, $P < 0.001$; Figura 8).

En la época seca, la abundancia total fue significativamente mayor en Pitahaya ($\approx 7.5 \pm 2.0$) en comparación con el Bosque ($\approx 3.0 \pm 1.0$). En la temporada de lluvias, las abundancias se igualaron ($\approx 2.5 \pm 1.0$ en ambos sitios), lo que sugiere que Pitahaya proporciona condiciones favorables durante periodos secos, mientras que el Bosque mantiene una menor variabilidad estacional gracias a su resiliencia y microclima más estable (Allen et al., 2017).

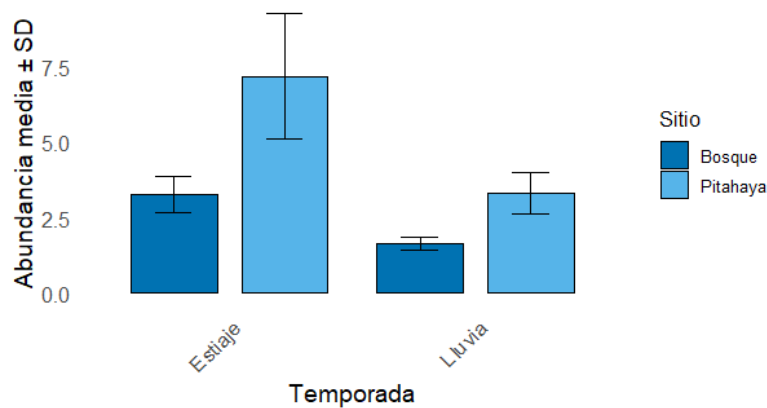


Figura 7. Comparación de abundancia media de la fauna del suelo en temporada de estiaje y lluvia en los dos sitios de muestreo.

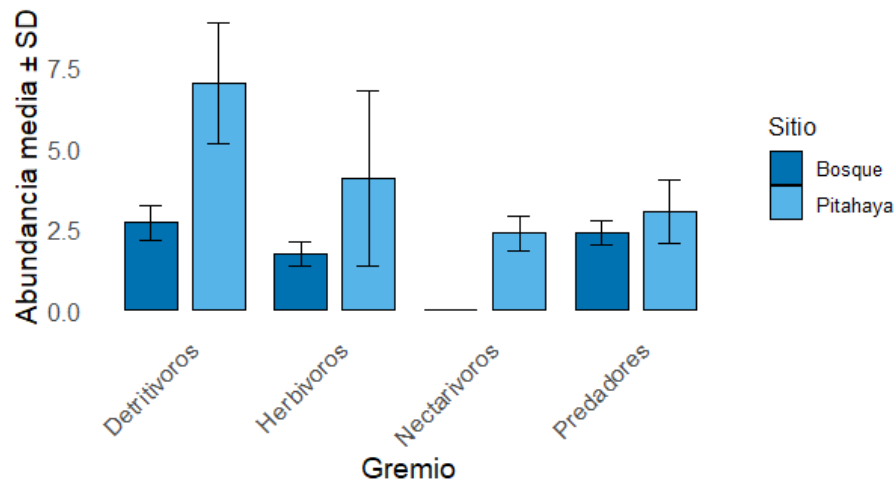


Figura 8. Comparación de la abundancia media de la fauna del suelo de acuerdo a los gremios tróficos en ambos sitios.

En cuanto a los gremios de herbívoros y depredadores no se observaron diferencias significativas entre sitios, lo que sugiere que el potencial de control biológico natural se conserva a pesar del cambio de uso de suelo. Sólo los detritívoros fueron los únicos con diferencias significativas entre sitios, siendo más abundantes en Pitahaya ($\approx 7.5 \pm 2.0$) que en el Bosque ($\approx 3.0 \pm 1.5$) (Figura 8).

Esta mayor abundancia de detritívoros en Pitahaya puede estar influida por la dominancia de organismos de la familia Formicidae que representa el 80% de los organismos detritívoros identificados en Pitahaya, lo que sugiere un desbalance funcional dentro del gremio detritívoro.

7.2.1 índice de diversidad de Shannon y Simpson en sitio de Pitahaya y Bosque

En contraste, la comunidad detritívora en el Bosque presenta una comunidad más equilibrada de detritívoros con una mayor diversidad funcional, con menor

predominancia de Formicidae y una mayor representación de grupos sensibles a la sequía, contribuyendo a procesos de descomposición más estables y eficientes, aunque con abundancias menores. El valor de Shannon es más alto en el Bosque (1.15) en comparación con Pitahaya (0.68) (Tabla 3), esto indica que el bosque tiene una mayor diversidad y equidad en la distribución de las familias de detritívoros. Hay menos dominancia de una sola familia, lo cual refleja un ecosistema más equilibrado y funcional. En pitahaya en cambio, el menor valor sugiere que una familia domina, lo que reduce la equidad y diversidad general del gremio detritívoro. Por otro lado, el valor de Simpson, es mayor en el Bosque (0.47) en comparación con el sitio de pitahaya (0.34), donde valores más altos indican una menor dominancia de familias individuales y, por ende, una mayor diversidad funcional. El sitio de Pitahaya presenta una mayor dominancia de una o pocas familias (probablemente Formicidae), lo que sugiere un desbalance en la comunidad detritívora. Las condiciones microclimáticas más estables del Bosque, con mayor humedad y menor fluctuación térmica, favorecen la coexistencia de una mayor diversidad funcional, asegurando procesos de descomposición balanceados y resilientes (De Frenne, et al, 2021).

La proliferación de organismos oportunistas y generalistas como las hormigas en Pitahaya, pueden ser favorecidos por prácticas agrícolas, como deshierbe, podas y disturbios recurrentes que incrementan los recursos superficiales y favorecen a detritívoros oportunistas que prosperan en condiciones secas y perturbadas. Estas prácticas también pueden estar afectando negativamente a grupos más sensibles y limitando la diversidad funcional del suelo (Kuate, et al, 2015, Hevia, et al, 2018).

Si bien las hormigas pueden acelerar la descomposición superficial de materia orgánica, su predominancia puede desplazar a otros detritívoros claves, como lombrices e isópodos, que son fundamentales para la aireación del suelo, la formación de agregados y la mejora de su estructura. Este fenómeno puede conducir a un reciclaje de nutrientes desigual y menos eficiente a largo plazo, comprometiendo la resiliencia y estabilidad del ecosistema edáfico (Snyder y Hendrix, 2008, Xiao, et al, 2018). Para mitigar estos efectos, es necesario implementar prácticas de manejo que promuevan una mayor diversidad funcional, favoreciendo la coexistencia de otros detritívoros claves y asegurando procesos edáficos estables y eficientes.

Tabla 3. Diversidad de detritívoros entre sitios

Sitio	Shannon	Simpson
Bosque	1.154	0.472
Pitahaya	0.686	0.342

7.2.2 Composición de la comunidad de fauna del suelo en Bosque y Pitahaya

El índice de Jaccard (0.693) refleja una alta disimilitud entre las comunidades de Bosque y Pitahaya o de forma equivalente, una similitud del 69.3%. La presencia de familias como Blattellidae, Chrysomelidae, Carabidae y Pentatomidae sugiere que el bosque favorece una mayor diversidad de grupos relacionados con la descomposición y organismos adaptados a un ambiente más estable y menos perturbado. Por otro lado, en cultivo de Pitahaya, familias como Vespidae, Halictidae y Apidae son típicas de ambientes abiertos, donde las condiciones microclimáticas favorecen la presencia

de polinizadores y otros grupos oportunistas, estas familias son fundamentales para el éxito reproductivo del cultivo, por lo que se deben promover prácticas agroecológicas que conserven estos organismos.

La presencia de Formicidae, Oxyopidae y Salticidae en ambos sitios indica una capacidad de estos grupos para adaptarse a diferentes condiciones de manejo agrícola y ambientes más estables del bosque, además, la coexistencia de Lumbricidae y Scarabaeidae en ambos sitios refleja que algunos descomponedores son funcionales en ambos ecosistemas. La presencia de Salticidae (arañas saltadoras) y Oxyopidae en ambos sitios refuerza el potencial para el control natural de plagas, por lo que el evitar el uso intensivo de pesticidas permitirá mantener este equilibrio (Tabla 4).

A grandes rasgos el bosque mantiene una comunidad de familias más adaptada a la descomposición y procesos de estabilización del suelo. En contraste, el cultivo de Pitahaya favorece familias de polinizadores, depredadores y organismos oportunistas adaptados a mayores perturbaciones y exposición a la luz. La disimilitud alta indica que la conversión de bosque a cultivo de pitahaya altera significativamente la estructura de la comunidad. Esto puede afectar servicios ecosistémicos como la descomposición, reciclaje de nutrientes y control biológico. Muy importante es que la pérdida de familias clave en Pitahaya como Julidae, Cryptopidae y Lumbricidae (descomponedores) puede reducir la fertilidad del suelo. Se recomienda implementar prácticas como la incorporación de materia orgánica y barreras vegetativas para mejorar la estructura del suelo (Mora Delgado et al., 2019).

Tabla 4. Familias Exclusivas y compartidas para los sitios Bosque y Pitahaya

Bosque	Pitahaya	Compartidas
Blattellidae	Vespidae	Oxyopidae
Bostrichidae	Halictidae	Salticidae
Chrysomelidae	Bethylidae	Tenebrionidae
Cydnidae	Adrenidae	Chrysopidae
Lyconsidae	Miridae	Culicidae
Lygaeldae	Andrenidae	Formicidae
Grillidae	Apidae	Acrididae
Carabidae	Mutillidae	Cicadellidae
Spirobolidae	Blattidae	Japygidae
Pentatomidae	Muscidae	Scarabaeidae
Gryllacrididae	Scoliidae	Julidae
Theraphosidae	Colletidae	Cryptopidae
Lucanidae	Thomisidae	Zorotypidae
Armadillidiidae	Geophilidae	Lepismatidae
Heteronemiidae	Cicadidae	Lumbricidae
Drosophilidae	Chaoboridae	
	Artididae	
	Geometridae	
	Larva	
	Reduviidae	

7.3 Resistencia a la penetración en el sitio pitahaya

En el contexto del cambio de uso del suelo para el cultivo de pitahaya, la evaluación de la compactación del suelo considerando el efecto del ambiente (sol y sombra) reveló que, para una profundidad de 10 cm, la abundancia de organismos del suelo no mostró diferencias significativas según el análisis de varianza ANOVA ($F=2.468$, $GL=1$, $P=0.121$, Tabla A8). Esto sugiere que la presencia de sombra o exposición directa al

sol no afecta de manera considerable la abundancia de los organismos edáficos. De manera similar, para una profundidad de 20 cm, tampoco se observaron diferencias significativas ($F=0.034$, $GL=1$, $P=0.854$), indicando una respuesta uniforme de la fauna del suelo frente a las condiciones ambientales en ambas profundidades.

Sin embargo, al analizar el efecto de la temporada (Estiaje y Lluvia), se identificaron diferencias significativas tanto en la capa superficial de 10 cm ($GL=1$, $F=12.69$, $P=0.000673$) como en la subsuperficial de 20 cm ($GL=1$, $F=8.685$, $P=0.00437$). Esto podría estar relacionado con cambios estacionales que influyen en la disponibilidad de recursos y en las condiciones ambientales, lo cual favorece la actividad y distribución de ciertos organismos del suelo. Durante la temporada de lluvias, es posible que las condiciones de humedad promuevan mayor actividad de organismos, tanto epigeos como hipogeos, lo que destaca su papel funcional en los procesos edáficos durante este periodo. En cuanto al niveles estacionales, no se observaron diferencias significativas en ninguna de las profundidades evaluadas (10 cm: $F=1.99$, $GL=3$, $P=0.897$; 20 cm: $GL=3$, $F=0.896$, $P=0.448$). Esto sugiere que los organismos pertenecientes a los distintos gremios tróficos están distribuidos de manera homogénea tanto en la capa superficial como en la subsuperficial, independientemente de las características físicas del suelo a estas profundidades. Estos resultados destacan la resiliencia funcional de los gremios tróficos frente a las condiciones ambientales y las variaciones en el uso del suelo.

VIII. Conclusiones

1. Aunque los árboles nativos dispersos no modifican significativamente la abundancia o riqueza total de la fauna del suelo, sí favorecen a herbívoros e hipogeos, especialmente en temporada de lluvias. La sombra también se relaciona con la dominancia de detritívoros en estiaje.
2. La temporada de lluvias incrementa la abundancia de herbívoros y depredadores, mientras que en el estiaje predominan los detritívoros. Los organismos hipogeos son sensibles a la humedad, mostrando mayor riqueza en lluvias, a diferencia de los epigeos que son más resilientes en condiciones secas.
3. Los fragmentos de bosque y el sistema agroforestal de pitahaya alteran significativamente la composición de la comunidad de fauna del suelo. En pitahaya, se observa una mayor abundancia de detritívoros, con predominio de hormigas, especialmente en la época seca, lo que indica un desequilibrio funcional. En contraste, el bosque presenta una mayor diversidad y equidad de detritívoros, con un ecosistema más equilibrado. Algunas familias que se presentaron en bosque son Blattellidae, Chrysomelidae, Carabidae y Pentatomidae en común en ambientes más estable y menos perturbado, mientras en pitahaya las familias como Vespidae, Halictidae y Apidae son típicas de ambientes abiertos. La pérdida de familias clave para la descomposición en el cultivo de pitahaya resalta la necesidad de implementar prácticas de manejo que promuevan la diversidad funcional y la salud del suelo.

IX. Bibliografía.

Allen, K., Dupuy, J., Gei, M., Hulshof, C., Medvigy, D., Pizano, C., Salgado-Negret, B., Smith, C., Trierweiler, A., Bloem, S., Waring, B., Xu, X., & Powers, J. (2017). Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes?. *Environmental Research Letters*, 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5968>.

Bommarco, R., & Banks, J. (2003). Scale as Modifier in Vegetation Diversity Experiments: Effects on Herbivores and Predators. *Oikos*, 102, 440-448. <https://doi.org/10.1034/J.1600-0579.2003.12578.X>.

Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñeiro-Vázquez, A. T., & Díaz-Echeverría, V. (2016). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(3), 269-284.

Castro Gámez, A. D. R. (2021). *Caracterización socioeconómica y fitosanitaria de sistemas de producción en cultivo de pitahaya (Hylocereus undatus (How) Britton and Rose) en el municipio de La Concepción-Masaya, Nicaragua, 2018* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).

Chamorro-Martínez, Y., Torregroza-Espinosa, A. C., Pallares, M. I. M., Osorio, D. P., Paternina, A. C., & Echeverría-González, A. (2022). Soil macrofauna, mesofauna and microfauna and their relationship with soil quality in agricultural areas in northern

Colombia: ecological implications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 46, e0210132.

Cruz, J. A. M., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M. D. L. Á., Herrera, G. R., & Guevara-Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales*, 36, 67-76.

Dagar, J. C., & Tewari, V. P. (2017). *Agroforestry*. Singapore: Springer Singapore. doi, 10, 978-981.

De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M., Christiansen, D., Decocq, G., De Pauw, K., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klingses, D., Koelemeijer, I., Lembrechts, J., Marrec, R., Meeussen, C., Ogée, J., Tyystjärvi, V., Vangansbeke, P., & Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27. <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>.

Gálvez-Cerón, A. L., Reina-López, A. M., & Meneses-Estrada, E. V. (2016). Cuantificación de macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril y uno convencional en bosque seco. *Revista Investigación Pecuaria*, 4(2).

García-Rubio, L. A., Vargas-Ponce, O., Ramírez-Mireles, F. D. J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C. A., & Cruz-Hernández, T. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921–939. <https://doi.org/10.17129/botsci.282>

Gordon, D., Steiner, E., Das, B., & Walker, N. (2023). Harvester ant colonies differ in collective behavioural plasticity to regulate water loss. *Royal Society Open Science*, 10. <https://doi.org/10.1098/rsos.230726>.

Hevia, V., Ortega, J., Azcárate, F., López, C., & González, J. (2018). Exploring the effect of soil management intensity on taxonomic and functional diversity of ants in Mediterranean olive groves. *Agricultural and Forest Entomology*, 21. <https://doi.org/10.1111/afe.12313>.

Juanacio, L. M. E., Vinueza, X. R. C., Logroño, J. P. A., & Cárdenas, G. O. Z. (2024). Macrofauna edáfica como indicador de calidad del suelo en tres agroecosistemas café, té y pitahaya del cantón Palora. *Polo del Conocimiento*, 9(7), 3217-3234.

Kuate, A., Hanna, R., Tindo, M., Nanga, S., & Nagel, P. (2015). Ant Diversity in Dominant Vegetation Types of Southern Cameroon. *Biotropica*, 47. <https://doi.org/10.1111/btp.12182>.

Manzanero-Acevero, I. A., Márquez, R. I., Zamora-Crescencio, P., Rodríguez-Canché, L. G., Ortega-Haas, J. J., & Benito-Bernardo Dzid, C. A. S. T. I. L. L. O. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 16(1), 9-16.

Martínez, E. J., Avilés, C. J. L., & Borges, D. B. E. (2020). Identificación de las principales plagas que afectan la pitahaya (*Hylocereus undatus* Britt and Rose) en Carazo, Nicaragua, 2018. *Ciencia e Interculturalidad*, 26(01), 192-209.

Martínez-Encino, C., Villanueva-López, G., & Casanova-Lugo, F. (2013). Densidad y composición de árboles dispersos en potreros en la Sierra de Tabasco, México. *Agrociencia*, 47(5), 483-496.

Masin, C. E., Cruz, M. S., Rodríguez, A. R., Demonte, M. J., Vuizot, L. A., Maitre, M. I., ... & Almada, M. S. (2017). Macrofauna edáfica asociada a diferentes ambientes de un vivero forestal (Santa Fe, Argentina). *Ciencia del suelo*, 35(1), 21-33.

Mendieta López, M., & Rocha Molina, L. R. (2007). Sistemas agroforestales.

Mera Velasco, Y. A., Gallego Roper, M. C., & Armbricht, I. (2010). Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), 116-126.

Mora Delgado, J., Silva Parra, A., & Escobar Escobar, N. (2019). *Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos*. Ibagué: Sello Editorial Universidad del Tolima, 2019.

Pardon, P., Reheul, D., Mertens, J., Reubens, B., De Frenne, P., De Smedt, P., Proesmans, W., Van Vooren, L., & Verheyen, K. (2019). Gradients in abundance and diversity of ground dwelling arthropods as a function of distance to tree rows in temperate arable agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
<https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2018.10.017>.

Patra, A. K. (2022). *Introductory agroforestry*. CRC Press.

Paz, B. (2012). Diversidad genérica de hormigas (Himenópteros: Formicidae) en ambientes de bosque, borde de bosque y áreas cultivadas tres Comunidades del Municipio de Coripata, Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia.

Prather, C. M., & Belovsky, G. E. (2019). Herbivore and detritivore effects on rainforest plant production are altered by disturbance. *Ecology and Evolution*, 9(13), 7652-7659.

Russo, R. O., Aráuz, K., Barboza, N., Camacho, M., Martínez, H., & Mora, V. (2013). Los Servicios Ambientales o Ecosistémicos de los Sistemas Agroforestales y Silvopastoriles. *Nota de Extensión*, Noviembre, 2013.

SAS INSTITUTE. (1982). SAS USER'S GUIDE: Statistics. 1982 Edition. Sas Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 584 pp.

Salgado Duarte, C. R. (2010). Los herbívoros como agentes selectivos sobre atributos de valor funcional en ambientes de sombra.

Simpson, E. H. (1949). Measurements of diversity. *Nature*, 163, 688.

<https://doi.org/10.1038/163688a0>

Staab, M., & Schuldt, A. (2020). The Influence of Tree Diversity on Natural Enemies—a Review of the “Enemies” Hypothesis in Forests. *Current Forestry Reports*, 6, 243 - 259. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00123-6>.

Shannon, C. E. y Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. Champaign, IL: University of Illinois Press

Suárez Salazar, J. C., Duran Bautista, E. H., & Rosas Patiño, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta agronómica*, 64(3), 214-220.

Thakur, M., Reich, P., Hobbie, S., Stefanski, A., Rich, R., Rice, K., Eddy, W., & Eisenhauer, N. (2017). Reduced feeding activity of soil detritivores under warmer and drier conditions. *Nature climate change*, 8, 75 - 78. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0032-6>.

Thurman, J., Northfield, T., & Snyder, W. (2019). Weaver Ants Provide Ecosystem Services to Tropical Tree Crops. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00120>.

Xiao, Z., Wang, X., Koricheva, J., Kergunteuil, A., Bayon, R., Liu, M., Hu, F., & Rasmann, S. (2018). Earthworms affect plant growth and resistance against herbivores: A meta-analysis. *Functional Ecology*, 32, 150-160. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12969>.

X. Anexos

Tabla A1. Resultados del análisis de varianza para evaluar los efectos de la Estacionalidad, Efecto del árbol, Gremio trófico y Formas de vida sobre la abundancia de fauna edáfica en sistemas agroforestales de *Hylocereus undatus*

Term	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			105	1156.570	
Estacionalidad	1	83.269	104	1073.301	<0.001 *
Efecto del árbol	1	2.359	103	1070.942	0.125
Gremio Trófico	3	133.119	100	937.822	<0.001 *
Formas de vida	1	44.874	99	892.949	<0.001 *
Estacionalidad X Efecto del árbol	1	12.629	98	880.319	<0.001 *
Estacionalidad X Gremio Trófico	3	35.763	95	844.557	<0.001 *
Efecto del árbol X Gremio Trófico	3	30.446	92	814.110	<0.001 *
Gremio Trófico X Formas de vida	3	3.429	89	810.681	0.330
Efecto del árbol X Formas de vida	1	11.017	88	799.664	<0.001 *
Estacionalidad X Formas de vida	1	85.940	87	713.723	<0.001 *
Estacionalidad X Efecto del árbol X Gremio Trófico	2	9.248	85	704.475	0.010

Tabla A2. Resultados del análisis de varianza para evaluar los efectos de la Estacionalidad, Efecto del árbol, Gremio trófico y Formas de vida sobre la riqueza de fauna edáfica en sistemas agroforestales de *Hylocereus undatus*

Term	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			24	23.181	
Estacionalidad	1	0.323	23	22.858	0.570
Formas de vida	1	0.924	22	21.934	0.336
Efecto del árbol	1	1.840	21	20.094	0.175
Gremio Trófico	3	5.426	18	14.667	0.143
Estacionalidad X Formas de vida	1	5.602	17	9.065	0.018 *

Tabla A3. Resultados del análisis de varianza para evaluar los efectos de la Estacionalidad, Gremio trófico y Formas de vida sobre la abundancia de fauna edáfica en fragmento de bosque

Term	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			86	175.474	
Estacionalidad	1	23.247	85	152.227	<0.001 *
Formas de vida	1	0.084	84	152.143	0.772
Gremio Trófico	3	16.782	81	135.361	<0.001 *

Estacionalidad X Formas de vida	1	12.339	80	123.023	<0.001 *
Estacionalidad X Gremio Trófico	2	9.099	78	113.924	0.011 *

Tabla A4. Resultados del análisis de varianza para evaluar los efectos de la Estacionalidad, Gremio trófico y Formas de vida sobre la riqueza de fauna edáfica en fragmento de bosque

Term	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			11	17.626	
Estacionalidad	1	0.043	10	17.583	0.835
Formas de vida	1	0.096	9	17.487	0.757
Gremio Trófico	3	4.751	6	12.737	0.191

Tabla A5. Composición taxonómica de la comunidad de fauna del suelo en cultivo de pitahaya y bosque en la temporada de estiaje y lluvia.

Orden	Familia	Depredadores	Detritívoros	Herbívoros	Nectarívoros	Abundancia
Hymenoptera	Adrenidae	0	0	0	10	10
	Apidae	0	0	0	8	8
	Bethylidae	2	0	0	0	2
	Colletidae	0	0	0	2	2
	Formicidae	0	383	0	0	383
	Halictidae	0	0	0	4	4
	Mutillidae	0	0	0	36	36
	Scoliidae	0	0	0	1	1
	Vespidae	0	0	0	9	9
Coleóptero	Blattidae	0	2	0	0	2
	Bostrichidae	0	0	2	0	2
	Carabidae	0	3	0	0	3
	Chrysomelidae	4	0	0	0	4
	Lucanidae	0	1	0	0	1
	Scarabaeidae	0	0	13	0	13
	Tenebrionidae	0	0	12	0	12
Hemíptera	Cicadellidae	0	0	1	0	1
	Cydnidae	0	0	1	0	1
	Lygaeidae	0	0	1	0	1
	Miridae	3	0	0	0	3
	Pentatomidae	0	0	1	0	1
	Reduviidae	1	0	0	0	1
Araneae	Lyconsidae	1	0	0	0	1
	Oxyopidae	8	0	0	0	8

	Salticidae	39	0	0	0	39
	Theraphosidae	3	0	0	0	3
	Thomisidae	1	0	0	0	1
Díptero	Chaoboridae	0	0	0	0	0
	Culicidae	0	0	0	0	0
	Drosophilidae	0	0	0	0	0
	Muscidae	0	1	0	0	1
Orthoptera	Acrididae	0	0	3	0	3
	Grillidae	0	0	1	0	1
	Gryllacrididae	0	0	1	0	1
Lepidoptera	Arctiidae	0	0	0	1	1
	Geometridae	0	0	2	0	2
Homoptera	Cicadellidae	0	0	1	0	1
	Cicadidae	0	1	0	0	1
Diplura	Japygidae	0	11	0	0	11
Blattodea	Blattellidae	0	5	0	0	5
Espirobolida	Spirobolidae	0	2	0	0	2
Geophilomorpha	Geophilidae	5	0	0	0	5
Isopoda	Armadillidiidae	0	0	2	0	2
Julida	Julidae	0	2	0	0	2
Neuroptera	Chrysopidae	0	0	0	2	2
Haplotaxida	Lumbricidae	0	68	0	0	68
Phasmatodea	Heteronemiidae	1	0	0	0	1
Pulmonata	NA	0	23	0	0	23
Scolopendromorpha	Cryptopidae	24	0	0	0	24
Zigentoma	Lepismatidae	0	0	5	0	5
Zoraptera	Zorotypidae	0	27	0	0	27
Coleóptero	Larva	0	0	14	0	14

Lepidoptera	Larva	0	0	5	0	5
Hymenoptera	Larva	0	0	1	0	1
Diptero	Larva	0	1	0	0	1
Neuroptera	Larva	1	0	0	0	1
	Total	93	530	66	73	762

Tabla A6. Análisis comparativo del número de organismos de familias de bosque y pitahaya.

Familias	Pitahaya	Bosque
Artididae	1	0
Cicadidae	1	0
Geometridae	1	0
Larva	1	0
Muscidae	1	0
Reduviidae	1	0
Scoliidae	1	0
Thomisidae	1	0
Bethylidae	2	0
Blattidae	2	0
Colletidae	2	0
Geophilidae	3	0
Miridae	3	0
Halictidae	4	0
Adrenidae	5	0
Andrenidae	5	0
Apidae	8	0
Vespidae	9	0
Mutillidae	36	0
Cydnidae	0	1
Grillidae	0	1
Gryllacrididae	0	1
Heteronemiidae	0	1
Lucanidae	0	1
Lyconidae	0	1
Lygaeidae	0	1
Pentatomidae	0	1
Armadillidiidae	0	2
Bostrichidae	0	2
Spirobolidae	0	2
Carabidae	0	3
Chrysomelidae	0	3
Theraphosidae	0	3
Blattellidae	0	5
Cicadellidae	1	1

Julidae	1	1
Japygidae	1	10
Cryptopidae	1	23
Acrididae	2	1
Chrysopidae	2	1
Oxyopidae	2	6
Tenebrionidae	3	10
Lepismatidae	4	1
Scarabaeidae	4	9
Salticidae	22	17
Zorotypidae	24	3
Lumbricidae	67	1
Formicidae	315	68

Composición de familias de la macrofauna edáfica.

Tabla A7. Se presentan las familias de la fauna del suelo dependiendo al gremio trófico conforme a la dieta alimenticia.

Depredadores	Detritívoros	Hervívoros	Nectarívoros
Bethylidae	Blattellidae	Acrididae	Adrenidae
Carabidae	Blattidae	Armadillidiidae	Andrenidae
Chaoboridae	Carabidae	Artididae	Apidae
Chrysomelidae	Cicadidae	Blattellidae	Chrysopidae
Cryptopidae	Formicidae	Bostrichidae	Colletidae
Culicidae	Japygidae	Chrysopidae	Halictidae
Drosophilidae	Julidae	Cicadellidae	Mutillidae
Geophilidae	Lepismatidae	Cydnidae	Scoliidae
Heteronemiidae	Lucanidae	Geometridae	Vespidae
Lyconsidae	Lumbricidae	Grillidae	
Miridae	Muscidae	Gryllacrididae	
Oxyopidae	Scarabaeidae	Lepismatidae	
Reduviidae	Spirobolidae	Lygaeldae	
Salticidae	Tenebrionidae	Mutillidae	
Scarabaeidae	Zorotypidae	Pentatomidae	
Theraphosidae		Scarabaeidae	
Thomisidae		Tenebrionidae	

Tabla A8. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la resistencia a la penetración del suelo a 10 cm y 20 cm de profundidad en función del ambiente, temporada y gremio trófico.

Variable	Factor	df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
X10cm	Ambiente	1	20.9	20.875	2.468	0.121
	Residuals	69	583.6	8.458		
X20cm	Ambiente	1	3	3.24	0.034	0.854
	Residuals	69	6530	94.64		
						0.000673
X10cm	Temporada	1	93.9	93.88	12.69	***
	Residuals	69	510.6	7.4		
X20cm	Temporada	1	730	730.5	8.685	0.00437 **
	Residuals	69	5803	84.1		
X10cm	Gremio	3	5.4	1.797	0.199	0.897
	Residuals	66	596.4	9.036		
X20cm	Gremio	3	256	85.25	0.896	0.448
	Residuals	66	6277	95.11		