

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

Título de tesis:

**Variación de la comunidad de
la mesofauna en manglar de
Mahahual, Quintana Roo**

Tesis para obtener el Grado de:

Maestra en Manejo de Zona Costera

Presenta:

Sara Isabel Alamilla Calixto

Director de Tesis:

Dr. Leopoldo Querubín Cutz Pool

Chetumal, Q. Roo, México.
Agosto, 2026



Chetumal, Quintana Roo, 30 de junio de 2026

Asunto: liberación de tesis

DRA. NALLELY ARIADNA AGUILAR CASTRO
COORDINADORA DE LA MAESTRÍA EN MANEJO DE ZONA COSTERA

Por este medio tenemos a bien comunicarle que la Tesis de la alumna **SARA ISABEL ALAMILLA CALIXTO** con No. de control **M22390624**, titulada “**Variación de la comunidad de la mesofauna en manglar de Mahahual, Quintana Roo**”, ha sido revisada y aprobada, por lo que puede continuar con los trámites para la obtención del grado de Maestra en Manejo de Zona Costera.

Sin otro particular, aprovechamos la presente para enviarle un cordial saludo

A T E N T A M E N T E

COMITE TUTORIAL

Dr. Leopoldo Querubín Cutz Pool
Director de Tesis

Dra. Claudia González Salvatierra
Revisor de tesis

M en C. Héctor Javier Ortiz León
Revisor de tesis





Instituto Tecnológico de Chetumal
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Chetumal, Quintana Roo, **14/agosto/2026**

Asunto: Reporte de herramienta antiplagio

C.SARA ISABEL ALAMILLA CALIXTO
ESTUDIANTE
MAESTRÍA EN MANEJO DE ZONAS COSTERAS
P R E S E N T E

Con base en la revisión realizada al documento digital **Variación de la comunidad de la mesofauna en manglar de Mahahual, Quintana Roo**, utilizando herramientas de detección de similitud, se informa que el trabajo presenta 16% de porcentaje de coincidencia textual (plagio), reflejandose en la siguiente tabla:

	Introducción	Antecedentes	Marco teórico	Justificación	Metodología	Resultados	Discusión	Conclusiones	Total
Porcentaje	4%	3%	4%	0%	2%	0%	3%	0%	16%

La presente tesis cumple con el requisito de originalidad mínima del 30 %, tal como lo exige la normatividad interna de la institución, por lo anterior se considera el trabajo: **ACEPTADO.**

Sin otro particular, expido la presente en la fecha antes señalada para los fines académicos a que haya lugar.

ATENTAMENTE,

DRA. NALLELY ARIADNA AGUILAR CASTRO
COORDINADORA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECOSISTEMAS TROPICALES

Ccp. Comité tutorial



2026
año de
Margarita Maza



SISTEMA DE GESTIÓN
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
BICERT, S.C.





Instituto Tecnológico de Chetumal
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Chetumal, Quintana Roo, 11/agosto/2026
No. de oficio: W-236/2026

ASUNTO: Autorización de impresión

SARA ISABEL ALAMILLA CALIXTO
ESTUDIANTE DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE ZONA COSTERA
PRESENTE

Habiendo cumplido con los requisitos para obtención del grado de MAESTRO EN MANEJO DE ZONA COSTERA, establecidos en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México y que competen a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, le comunico que:

SE LE CONCEDE LA AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE LA TESIS

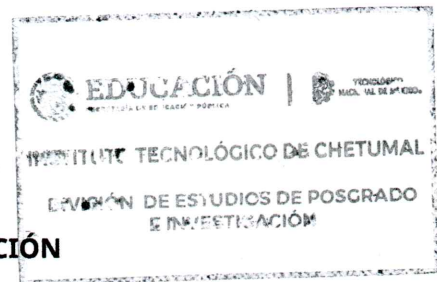
"Variación de la comunidad de la mesofauna en manglar de Mahahual, Quintana Roo"

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Cultura, Ciencia y Tecnología para la Superación de México®

DRA. ALICIA CARRILLO BASTOS
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ccp. Archivo
ACB/gaby



2026
año de
Margarita Maza



SISTEMA DE GESTIÓN
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
BICERT, S.C.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT; actualmente Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, SECIHTI) por el apoyo otorgado mediante la beca de posgrado durante el periodo **2022-2024**, que hizo posible mi formación académica y contribuyó al desarrollo de la presente investigación.

Asimismo, a los proyectos: Proyecto: 21041.24-P, **Biodiversidad de ecosistemas costeros: dunas y manglares de Mahahual-Xcalak, Quintana Roo**, Convocatoria de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico e Innovación-2024. TecNM y al Proyecto: 319795, **“Variación histórica de las anomalías climáticas en la zona costera de Mahahual-Xcalak, Quintana Roo”**, Convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022 (CONACYT), en cuyo marco se desarrolló la presente tesis, por las facilidades y recursos proporcionados para la realización de este trabajo.

Al **Instituto Tecnológico de Chetumal**, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría. Mi reconocimiento a todo el personal que contribuyó, de alguna manera, a mi formación durante esta etapa.

De manera especial, mi agradecimiento al Dr. Leopoldo Querubín Cutz Pool, director de esta tesis, por su orientación, paciencia y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. De igual forma, agradezco a los integrantes de mi comité tutorial, a la Dra. Claudia González Salvatierra y al M en C. Héctor Javier Ortiz León, por sus aportaciones, observaciones y sugerencias, que contribuyeron a fortalecer este trabajo.

A la Dra. María Magdalena Vázquez González, profesora investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, por recibirme en su laboratorio y permitirme desarrollar mi estancia profesional. Mi sincero agradecimiento por su constante apoyo y valiosa orientación en la preparación de muestras permanentes y en la identificación taxonómica de los organismos.

A todos los profesores de la Maestría por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, que contribuyeron a mi formación académica y profesional. A mis compañeros, muchas gracias por el apoyo y las experiencias compartidas a lo largo de esta etapa.

Finalmente, a mi familia, por ser mi apoyo incondicional durante este camino. Gracias por motivarme a seguir adelante y por acompañarme hasta alcanzar esta meta.

Contenido

RESUMEN	i
ABSTRACT	i
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. Vegetación de manglar	8
3.2. Servicios ecosistémicos.....	8
3.3. Mesofauna.....	9
3.4. Estructura de comunidad.....	9
3.5. Método de colecta con Embudo de Berlese-Tullgren	10
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	14
5.1. Objetivo general	14
5.2. Objetivos específicos.....	14
6. MATERIALES Y MÉTODOS	15
6.1. Área de estudio	15
6.1.1. Clima	15
6.1.2. Geología	16
6.1.3. Suelo	16
6.1.4. Vegetación.....	16
6.2. Trabajo de campo	16
6.3. Trabajo de laboratorio	17
6.3.1. Extracción, revisión y cuantificación de organismos	17
6.3.2. Preparación de muestras	19
6.3.3. Análisis de pH	20
6.4. Análisis Estadísticos.....	20
7. RESULTADOS	24
7.1 Abundancia y riqueza.....	24
7.2. Índices de diversidad	29
7.2.1. Prueba t de Hutcheson.....	29
7.5. Índice de Bray Curtis.....	30
7.3. Análisis de Varianza (ANOVA)	30

7.6. Análisis de Correspondencia Canónica	33
8. DISCUSIÓN.....	36
9. CONCLUSIONES.....	39
10. REFERENCIAS	40
ANEXOS.....	49

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la ubicación de los sitios de muestreo en Mahahual, Quintana Roo.....	15
Figura 1. Transecto de 50 m con los cuadrantes para la toma de las muestras en cada sitio.....	17
Figura 3. Embudo de Berlese-Tullgren para la recuperación de organismos de la hojarasca y el suelo.....	18
Figura 4. Ácaro oribátido montado en preparación permanente para su identificación taxonómica.....	19
Figura 5. Porcentaje de distribución de los grupos registrados en vegetación costera de Mahahual, Quintana Roo.....	24
Figura 6. Porcentaje de abundancia de organismos encontrados en manglar de Mahahual, Quintana Roo.....	26
Figura 7. Abundancia relativa de los grupos de organismos colectados en el manglar en el sitio con dominancia de <i>R. mangle</i>	26
Figura 8. Abundancia relativa de los grupos de organismos colectados en el manglar en el sitio con dominancia de <i>C. erectus</i>	27
Figura 9. Abundancia relativa de los grupos de organismos colectados en el manglar en el sitio con dominancia de <i>T. radiata</i>	27
Figura 10. Abundancia de la mesofauna por sitio y por mes de colecta.....	29
Figura 11. Dendrograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis de la mesofauna encontrada manglar de Mahahual, Q. Roo.	30
Figura 12. Variación de la densidad de Astigmata (ind/m ²) por fecha y sitio de colecta en manglar.	31
Figura 13. Variación de la densidad de Symphypleona (ind/m ²) por fecha y sitio de colecta en manglar.....	32
Figura 14. Variación de la densidad de Psocóptera (ind/m ²) por fecha y sitio de colecta en manglar.....	33
Figura 15. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de la mesofauna en tres sitios con vegetación de manglar en Mahahual, Q. Roo.....	35

Índice de Tablas

Tabla 1. Abundancia absoluta, riqueza de taxa, diversidad, equitatividad y dominancia de la mesofauna en los sitios de colecta en Mahahual, Quintana Roo.....	25
Tabla 2. Promedio de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctricas de los sitios de muestreo en manglar.....	28
Tabla 3. Diferencias entre las diversidades en los tres sitios con vegetación de manglar.....	30

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio para determinar la variación de la comunidad de la mesofauna en vegetación de manglar en la franja costera de Mahahual, Quintana Roo. Las colectas se realizaron en tres sitios, en el mes de febrero, marzo y noviembre de 2023. Cada sitio presentó una especie vegetal dominante, el sitio 1 con *Rhizophora mangle*, el sitio 2 con *Conocarpus erectus* y el sitio 3 con *Thrinax radiata*. Se colectaron en total 54 muestras, seis por cada sitio. Dichas muestras se procesaron con el embudo de Berlese-Tullgren. En total se registraron 14,270 organismos pertenecientes a 9 clases y 23 Ordenes. El análisis de varianza multifactorial determinó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los meses de muestreo ($F=2.94$; $p=0.0629$), ni entre los diferentes sitios de manglar ($F=0.94$; $p=0.3972$). Se determinó por medio del Análisis de Correspondencia Canónica que la humedad y la temperatura, influyen en la estructura de la comunidad.

Palabras clave: mesofauna, manglar, densidad, Quintana Roo, microartrópodos edáficos, estructura de la comunidad

ABSTRACT

A study was conducted to determine variations in the mesofauna community associated with mangrove vegetation along the coastal strip of Mahahual, Quintana Roo, Mexico. Sampling was carried out at three sites during February, March, and November 2023. Each site was characterized by a dominant plant species: Site 1 by *Rhizophora mangle*, Site 2 by *Conocarpus erectus*, and Site 3 by *Thrinax radiata*. A total of 54 samples were collected, with six samples per site during each sampling month, and processed using the Berlese–Tullgren funnel method. In total, 14,270 organisms belonging to 9 classes and 23 orders were recorded. A multifactorial analysis of variance showed no statistically significant differences among sampling months ($F = 2.94$; $p = 0.0629$) or among sites ($F = 0.94$; $p = 0.3972$). Canonical Correspondence Analysis indicated that humidity and temperature were associated with the community structure.

Keywords: Mesofauna, mangrove, density, Quintana Roo, soil microarthropods, community structure.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente principal de los ecosistemas terrestres, ya que proporciona nutrientes fundamentales para el crecimiento de la vegetación, actúa como sumidero de carbono y constituye el hábitat de una gran diversidad de organismos (FAO, 2015). Se estima que alberga aproximadamente una cuarta parte de la biodiversidad global, lo que lo convierte en un elemento clave para la funcionalidad y sostenibilidad de los ecosistemas (FAO, 2015; Laban et al., 2018); dicha riqueza biológica se compone por diversos grupos de organismos, clasificados, según su tamaño, en microfauna, mesofauna y macrofauna (Cabrera et al. 2017). La mesofauna incluye a los ácaros, colémbolos, proturos, dipluros, paurópodos, entre otros (Socarrás, 2013). Estos organismos mantienen interacciones con otros microartrópodos y con la microflora del suelo, formando una red de actividad biológica fundamental para la conservación de la fertilidad y funcionalidad del suelo (Laban et al., 2018). Diversos grupos dentro de esta comunidad edáfica son altamente sensibles a perturbaciones naturales y antrópicas, lo que afecta en su abundancia, diversidad y distribución (Socarrás, 2013). Debido a esto, la mesofauna resulta fundamental como bioindicador para evaluar la salud del suelo y guiar el manejo sostenible de los recursos naturales (Ghannem et al., 2024).

Como organismos detritívoros, los ácaros y colémbolos, facilitan la incorporación y disponibilidad de la materia orgánica en el ecosistema. Por consiguiente, el monitoreo de sus poblaciones permite evaluar la calidad del suelo (Álvarez, 2021).

Estos organismos son clave en las redes tróficas del suelo, pues incrementan la disponibilidad de nutrientes esenciales, como el nitrógeno, y modifican la estructura física del suelo, principalmente su porosidad, lo que facilita el movimiento del agua y el aire (Wall et al., 2010). A través de estos procesos, los organismos del suelo contribuyen de forma significativa a la provisión de servicios ecosistémicos, los cuales son relevantes en ecosistemas como el manglar, el cual representa el

4.9% de la cobertura vegetal total en el estado de Quintana Roo (Pronatura et al., 2024). Los manglares se caracterizan por su alta producción de materia orgánica en forma de hojarasca, la cual está compuesta por flores, hojas, ramas, hipocótilos y frutos (Tovilla-Hernández & Romero-Berny, 2015). La transformación de la materia orgánica del suelo ocurre a través del proceso de degradación biológica, en el cual organismos del suelo, como microorganismos, lombrices, insectos y microartrópodos, descomponen los restos orgánicos (Orihuela Belmonte et al., 2004; Cruz & Ojeda, 2023). Esta descomposición libera elementos esenciales como carbono, nitrógeno y fósforo, los cuales son reciclados y puestos nuevamente a disposición de la vegetación (Lavelle & Spain, 2001). Además, una parte de la materia orgánica se estabiliza en forma de humus, contribuyendo a la mejora de la estructura del suelo, el ciclo de nutrientes, la retención de agua y su fertilidad, lo que favorece la productividad del ecosistema (Julca-Otiniano et al., 2006; Maffia et al., 2025).

La alta producción primaria de los manglares les brinda una función como estabilizadores de suelos en zonas costeras, creando condiciones óptimas para el desarrollo de una gran diversidad de organismos (Díaz, 2011; Karimi et al., 2022). Estos ecosistemas funcionan como hábitat de reptiles, aves, mamíferos, moluscos, crustáceos y una amplia variedad de artrópodos edáficos, que desempeñan funciones ecológicas clave en la dinámica del suelo (Cannicci et al., 2008; Huertas & Martínez, 2011).

Los manglares son ecosistemas estratégicos que proveen importantes servicios ecosistémicos a nivel ambiental, social y económico (Mora et al., 2020). No obstante, en las últimas décadas han sido objeto de una rápida degradación y pérdida de cobertura como resultado de la presión antrópica y el cambio climático (Valiela et al., 2001; Alongi, 2008). En el Caribe mexicano, la expansión urbana y el desarrollo turístico han provocado la fragmentación de las dunas costeras reduciendo su conectividad con los manglares, arrecifes, cenotes y selvas (Gayosso-Soto et al., 2024). Asimismo, la acuicultura y el establecimiento de áreas urbanas constituyen algunos de los principales factores responsables de la

deforestación de los manglares (Kauffman et al., 2016; Kauffman et al., 2018). La pérdida estimada de la cobertura de manglares a nivel mundial varía entre el 0,16% y el 0,39% por año (Goldberg et al., 2020). La pérdida de manglares limita su potencial para brindar servicios ecosistémicos (Owuor et al., 2024).

En este contexto, resulta fundamental comprender y conocer cómo se estructura la comunidad de la mesofauna en estos ecosistemas y qué factores ambientales influyen en su distribución y abundancia. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo analizar la estructura de la comunidad de mesofauna en sitios con vegetación de manglar en la franja costera de Mahahual, Quintana Roo, con el fin de aportar conocimiento sobre la biodiversidad edáfica y su relación con las condiciones ambientales locales.

2. ANTECEDENTES

La fauna del suelo ha sido objeto de estudio sobre ecología, sistemática y morfología (Cutz-Pool & Vázquez, 2012; Vázquez & Palacios-Vargas, 2004) en diversos lugares, así como su función como bioindicadores (Socarrás & Izquierdo, 2014; Iturrondobeitia et al., 2004) y de la estructura de la comunidad (Cutz-Pool et al., 2008; Castro-Huerta et al., 2009). Algunas de las investigaciones sobre las comunidades de la fauna del suelo, se han realizado en distintos ambientes, como bosques templados (García-Gómez et al., 2011), bosques tropicales (Prieto et al., 1999), zonas costeras (Samalot-Roque, 2006; González-Salvatierra et al., 2024) y zonas agrícolas (Socarrás & Izquierdo, 2016; Anguas-Escalante et al., 2018). Trabajos en regiones costeras de la bahía de Bohai, provincia de Hebei en China han evidenciado que las comunidades de la fauna edáfica reflejan cambios en su composición y diversidad bajo diferentes tipos de uso de suelo, donde el orden Entomobryomorpha fue indicador en regiones costeras de cultivo y en zonas con árboles artificiales, mientras que Poduromorpha, junto con Díptera, Isópoda y Amphipoda fueron indicadores en ecosistemas terrestres costeros y humedales, respectivamente (Zheng et al., 2022).

Las actividades agrícolas pueden influir física y químicamente en las comunidades de la mesofauna del suelo, impactando así los servicios ecosistémicos que estas proporcionan. En la región sureste de la llanura de Songnen, en Harbin, provincia de Heilongjiang, China, se realizó una investigación en diferentes zonas agrícolas de la región de los Mollisols en la cual se reveló que el deterioro de la calidad del suelo repercutió en las comunidades de la mesofauna, mostrando una disminución, sin embargo, se observó una mayor riqueza en áreas con un deterioro de suelo más débil, por lo que se sugiere que el deterioro no presenta consecuencias negativas en las comunidades de la mesofauna (Ma et al., 2024)

En América Latina, el estudio de la fauna del suelo se ha llevado a cabo en diferentes países y en distintos ecosistemas. Samalot-Roque (2006), en su trabajo sobre diversidad de colémbolos asociados a *Rhizophora mangle* en Puerto Rico contribuyó a la lista de colémbolos pertenecientes a la isla, además de observar que la mayor diversidad se encontró en sitios con desembocaduras de ríos y donde había mayor acumulación de materia orgánica. En Cuba, se han identificado patrones de distribución de microartrópodos edáficos relacionados con el tipo de manejo del suelo y de la estacionalidad (Socarrás & Izquierdo, 2016). La mesofauna es un componente importante del ecosistema, debido a su participación en el ciclo de nutrientes, y a la fragmentación de materia orgánica para facilitar su descomposición por parte de microorganismos (Dervash et al., 2018). En un estudio realizado en agroecosistemas de Chile, Castro-Huerta et al. (2009) relacionaron la estructura de la mesofauna del suelo con características biológicas y químicas del suelo como la materia orgánica, la acidez, nitrógeno disponible, fósforo disponible, potasio intercambiable, la actividad enzimática, la biomasa microbiana y la agregación estable al agua. Se obtuvieron muestras de 40 agroecosistemas con certificación orgánica localizadas en el centro sur de Chile y concluyeron que el nitrógeno y el fósforo disponible, así como la acidez, están relacionados con la composición de la mesofauna, destacando que hay una mayor diversidad de especies en suelos con alta disponibilidad de nitrógeno y fósforo, y menor diversidad en suelos con valores altos de pH.

En México, se han realizado numerosos estudios enfocados en las comunidades de la fauna del suelo principalmente relacionados con su diversidad, distribución y su reacción ante diferentes condiciones ambientales.

Gómez-Anaya et al. (2010) describieron los patrones de abundancia de colémbolos en selva baja caducifolia de Jalisco, recolectando 24,253 ejemplares de 13 familias. Los autores determinaron, mediante análisis de correspondencia canónica, que la humedad es la variable fisicoquímica determinante para la distribución y abundancia de estos organismos, por encima de las diferencias entre cuencas hidrológicas. En cuanto a estudios sobre diversidad de especies Villagómez et al. (2017), elaboraron un listado faunístico sobre la riqueza de ácaros oribátidos, obtenidos de muestras de hojarasca, suelo y fumigaciones en la selva alta perennifolia de Los Tuxtlas, Veracruz. En este estudio se colectaron 3,919 ácaros, la mayor abundancia y riqueza se obtuvo en la hojarasca, seguida del suelo y por último el dosel. Más de la mitad de las especies colectadas se encontraron entre el suelo y la hojarasca, mientras que otras se encontraron en la hojarasca, sin atravesar el suelo profundo. Por otro lado, Figueroa (2021) comparó las comunidades de ácaros oribátidos y colémbolos en dos sitios con diferente grado de perturbación en la Reserva Estatal Sierra Monte Negro, Morelos. Reportó 170 individuos (54% colémbolos y 46% ácaros), identificando que la abundancia de ambos fue mayor en suelos con altos niveles de materia orgánica y que los colémbolos aparecieron únicamente en la temporada de lluvias.

Estudios realizados en el sur de México han evidenciado que la estructura de las comunidades de la mesofauna puede variar dependiendo del uso y manejo del suelo y las condiciones ambientales locales. En el caso de los estudios y trabajos sobre la mesofauna edáfica en el estado de Quintana Roo, Prieto et al. (1999) llevaron a cabo un estudio en la selva baja inundable de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. En este estudio caracterizaron la fauna del suelo, además de analizar su comportamiento de distribución y densidad tomando en cuenta la variación estacional. Los análisis determinaron que la mayoría de los organismos eran ácaros seguido de los colémbolos. Como resultado obtuvieron que en la temporada de

secas no había presencia de colémbolos, concluyendo que la humedad está relacionada con los valores de densidad.

En el municipio de Cozumel, localizado en el norte del estado de Quintana Roo, se han realizado estudios relacionados a la variación espacial de la mesofauna. García-Gómez et al. (2014), analizaron las variaciones espaciales y estacionales de la diversidad de la mesofauna en manglar del área de Punta Sur dentro del Parque Nacional Arrecifes de la Isla de Cozumel. Obtuvieron el registro de 90,680 artrópodos, 61.8% eran ácaros oribátidos y 14% colémbolos. La estación lluviosa presentó las mayores densidades, presentando una correlación positiva con la humedad. La mayor abundancia se encontró en *Rhizophora mangle* en temporada de lluvias; y mayor diversidad se encontró en *Avicennia nítida* en la temporada seca. Concluyeron que la humedad afecta de manera significativa y positiva la abundancia de la mesofauna, por el contrario de la temperatura que tiene un efecto negativo. Por otro lado, Vázquez et al. (2016), trabajaron en cuatro ecosistemas tropicales de la isla de Cozumel, Quintana Roo: selva baja, selva tropical subperennifolia, vegetación de dunas costeras y un área de manglar, de los cuales se obtuvo la riqueza específica y diversidad. Se registraron 554 especies de microartrópodos del suelo: Formicidae, Acari, Collembola, Symphylla y Pauropoda. La selva tropical subperennifolia tuvo el valor más alto de riqueza de especies. De las especies reportadas, el 37% representa nuevas especies.

En la zona centro de Quintana Roo, Pech & Cutz-Pool (2013), realizaron una caracterización sobre la diversidad de microartrópodos presentes en vegetación secundaria en el municipio de José María Morelos, Quintana Roo. Analizaron cómo la perturbación afecta el comportamiento de la distribución y abundancia de los individuos. En total, colectaron 2573 organismos, distribuidos en 13 órdenes, y concluyeron que la mayor abundancia de individuos está relacionada con sitios con grandes cantidades de materia orgánica.

En cuanto al sur del estado de Quintana Roo, en la comunidad de Xcalak, Gómez (2020), caracterizó la comunidad de ácaros oribátidos en una gradiente de vegetación de selva baja subperennifolia, bajos inundables y zonas de transición

(ecotono). El objetivo de su estudio fue conocer la relación de los organismos con las variables fisicoquímicas del suelo. En total, registró 358 ácaros oribátidos. Concluyó que los oribátidos se encuentran estrechamente relacionados con la temperatura, humedad y pH. En la Bahía de Chetumal, ubicada también al sur de Quintana Roo, se han llevado a cabo diversos estudios relacionados con la composición y diversidad de microartrópodos edáficos. Uno de los estudios más relevantes es el de Vázquez (2008). Su estudio se centró en la Bahía de Chetumal, donde registró una lista de 78 especies de microartrópodos, incluyendo ácaros y colémbolos. La investigación proporcionó una visión de la composición y diversidad que presentan los ecosistemas litorales. Por su parte, Tome et al. (2015), colectaron ácaros oribátidos en sitios de la Bahía de Chetumal, con el objetivo de conocer la variación espacial y temporal de estos organismos en litorales de la bahía de Chetumal. En total registraron 964 individuos, siendo la temporada de lluvias la que presentó mayor abundancia y diversidad. De manera general, obtuvieron que el pH, la humedad y la temperatura no afectan la abundancia de los ácaros oribátidos. Sin embargo, de manera particular, existen géneros que se ven afectados en su abundancia por alguna de estas variables. Por último, concluyeron que algunos géneros son exclusivos de las temporadas de lluvias, por lo que la temporalidad podría ser uno de los factores que influyen en la diversidad, riqueza y abundancia de estos organismos. Por último, Cauich (2018), determinó la estructura de la comunidad de ácaros y colémbolos en tres sitios con presencia de tres especies de manglar, respectivamente: *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* y *Rhizophora mangle*. El objetivo de su estudio fue conocer la relación que tienen estos organismos con características químicas y físicas del suelo de los manglares. Como resultado obtuvo el registro de 1,856 organismos. Con base en los resultados, concluyó que la temperatura, la humedad y el pH influyeron en las fluctuaciones de abundancia y presencia de fauna edáfica en los diferentes sitios.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Vegetación de manglar

En México, la vegetación de manglar está dominada por cuatro especies: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) (Rodríguez-Zúñiga et al., 2013). Geográficamente se localizan en las planicies costeras de los trópicos y subtrópicos (Gómez, 2024). Los manglares son considerados zonas de transición, esto por la interconexión que tienen con otros ecosistemas, como las dunas costeras, los pastos marinos y los arrecifes, permitiendo el flujo de especies y nutrientes entre ecosistemas terrestres y marinos (Mao et al., 2026). El manglar se adapta a distintos niveles de salinidad, lo que le permite establecerse en lagunas costeras y desembocaduras de ríos (SEMARNAT, 2019). Estos ecosistemas se encuentran temporal o permanentemente inundados (Lara-Domínguez et al., 2022). Los manglares son muy dinámicos y complejos, por lo que suelen ser ecosistemas sensibles a cualquier perturbación, como el cambio climático, el desarrollo costero, la contaminación y los cambios en el uso del suelo, las cuales pueden alterar su estructura, funcionamiento y los servicios ecosistémicos que proporcionan (Lara-Lara et al., 2008; Akram et al., 2023; Wei et al., 2025).

3.2. Servicios ecosistémicos

De acuerdo con Badillo et al. (2020), los manglares proveen cuatro tipos principales de servicios ecosistémicos: culturales, de regulación, de soporte y de provisión. En lo que respecta a los servicios culturales, los manglares permiten el desarrollo de actividades recreativas y turísticas, además de contribuir a la generación de nuevo conocimiento mediante investigaciones que se lleven a cabo en estos ecosistemas. Dentro de los servicios de regulación, los manglares se desempeñan como barreras naturales al proteger las zonas costeras frente a fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, tormentas e inundaciones, así como a procesos de erosión. Asimismo, cumplen un papel importante en la captura y almacenamiento de carbono, favorecen la recarga de acuíferos, mejoran la calidad

del agua, aportan nutrientes esenciales a otros ecosistemas y contribuyen a la estabilización del clima a nivel local. En cuanto a los servicios de soporte, los manglares proporcionan hábitat, refugio y alimento a especies juveniles de peces y crustáceos de relevancia comercial. Esta función favorece una alta biodiversidad, tanto en ecosistemas marinos como terrestres. Finalmente, los servicios de provisión incluyen los recursos pesqueros y forestales, como hojas y madera, que en determinadas regiones son aprovechados como forraje o material de construcción.

La vegetación de manglar desempeña un rol fundamental en el apoyo a las comunidades costeras locales y regionales con servicios ecosistémicos mejorando los medios de vida de las comunidades costeras (Getzner & Islam, 2020).

3.3. Mesofauna

La mesofauna son los organismos que miden entre 0.2 a 2 mm de diámetro y 4 mm de longitud, viven toda o una parte de su vida en el interior del suelo o en la superficie de este, en la hojarasca o en troncos en descomposición (Brown et al., 2001; Palacios-Vargas & Mejía-Recamier, 2007), entre los grupos que se pueden destacar son los ácaros, colémbolos, dipluros, proturos, psocópteros, sínfilos y tisanópteros (Palacios-Vargas et al., 2014; Cabrera et al., 2017;); siendo los ácaros y colémbolos los de mayor representatividad (Gomez-Anaya et al., 2010; Revelo-Tobar et al., 2024).

Varios de los grupos que forman parte de la mesofauna son considerados organismos bioindicadores, debido a que son sensibles a las perturbaciones y cambios en el ambiente, lo que hace que su abundancia y densidad sea variable (Gedoz et al., 2021; Iglesias et al., 2019; Socarrás, 2013; Socarrás & Robaina, 2011).

3.4. Estructura de comunidad

La comunidad es un nivel de organización natural, está integrada por individuos de distintas identidades taxonómicas que conviven en un hábitat definido y que tienen interacción directa o indirectamente; estas interacciones bióticas, así

como las abióticas definen la estructura de la comunidad (Velázquez et al., 2008). Un estudio a nivel comunitario permite conocer cómo son las interacciones de los individuos para determinar la distribución y diversidad de las especies y patrones de coexistencia (Bear et al., 2016). La diversidad biológica comprende la riqueza de especies y la abundancia relativa de los individuos (Magurran, 2004). A partir de estos componentes se han desarrollado diversos índices ecológicos que permiten cuantificar la diversidad de las comunidades, entre los que se encuentran los índices de riqueza, diversidad, equidad y dominancia (Velázquez et al., 2008; González-Valdivia et al. 2011; Roswell et al., 2021).

3.5. Método de colecta con Embudo de Berlese-Tullgren

Este método fue propuesto por Berlese (1905), años más tarde fue modificado por Tullgren (1918), el cual le agregó una fuente de luz en la parte superior del embudo (Sandler et al., 2010). El principio del Embudo de Berlese-Tullgren es el fototropismo negativo, lo cual explica el movimiento de los organismos hacia la dirección contraria de la luz (Fernández et al., 2000).

Este embudo es un sistema de extracción para separar pequeños artrópodos (Karyanto et al., 2012). El embudo se coloca en una estructura para evitar su inestabilidad, dentro de él se coloca una malla de alambre o tamiz de 2 mm de apertura de malla y sobre ello, la muestra colectada. Debajo del embudo se ubica un frasco con alcohol al 70% hacia donde los organismos se desplazarán para alejarse de la luz. Las muestras se dejan en la malla por 7 días. Algunos investigadores prefieren no utilizar la fuente de luz porque puede dañar a los juveniles de las especies (Palacios-Vargas & Mejía-Recamier, 2007).

De acuerdo con Sandler et al. (2010), el método de embudo Berlese-Tullgren, resulta útil para estudios sistemáticos y taxonómicos, ya que requiere de menor esfuerzo y tiempo, además de que las muestras resultan menos dañadas (Palacios-Vargas & Mejía-Recamier, 2007).

4. JUSTIFICACIÓN

El suelo constituye uno de los principales recursos para el sostenimiento de la vida en el planeta al cumplir funciones esenciales en los ecosistemas terrestres. Sin embargo, este recurso se encuentra constantemente amenazado debido a diversas actividades humanas. El desarrollo turístico ha incrementado significativamente la presión sobre los recursos naturales, generando impactos negativos como la degradación del paisaje y la pérdida de biodiversidad. A esta problemática se suma la falta de una adecuada planificación territorial y la baja implementación de políticas y regulaciones ambientales, lo que contribuye a la pérdida de los ecosistemas.

En este sentido, el estudio de la fauna del suelo tiene relevancia, ya que estos desempeñan diversas funciones ecológicas clave que permiten mantener la calidad y funcionalidad del suelo. Estos organismos participan en los procesos de descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de minerales y nutrientes, así como la mineralización de elementos esenciales como el nitrógeno y el fósforo. Además, forman parte de diversas cadenas tróficas, regulando poblaciones de hongos y bacterias, favoreciendo los procesos físicos del suelo como la aireación y la infiltración. El funcionamiento de estos procesos es fundamental para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Por lo tanto, el conocimiento de la biodiversidad edáfica contribuye a una mejor comprensión de la dinámica del suelo, además es vital para conservar la flora, la fauna y en última instancia, la salud humana.

Por otro lado, la presencia o ausencia de estos organismos pueden reflejar las condiciones ecológicas del ambiente, por lo que son considerados bioindicadores. Sus características ecológicas, como la sensibilidad a cambios en su hábitat y los procesos en los que participan, los hacen convenientes para evaluar la degradación o recuperación de los suelos.

Este trabajo busca generar conciencia sobre la importancia ecológica del manglar, no solo como hábitat de la fauna del suelo, si no como un ecosistema clave que

proporciona servicios ecosistémicos, como la protección costera, el almacenamiento de carbono y la regulación hídrica. La información que se obtenga puede utilizarse para incluir a las comunidades locales en estrategias o iniciativas para el cuidado de estos ecosistemas, fortaleciendo un enfoque sostenible y participativo. Este estudio es fundamental para comprender las relaciones ecológicas del manglar, además para promover su conservación en comunidades costeras del sur de Quintana Roo.

Esta investigación sobre la fauna edáfica se fundamenta en alineación con los marcos de desarrollo estatal, nacional y global. En el ámbito estatal se vincula directamente con el Plan de Desarrollo de Quintana Roo 2023-2027 bajo el Eje 4: Medio Ambiente y Crecimiento Sustentable en el Tema 4.19 Medio Ambiente y Sustentabilidad al identificar a la fauna del suelo como parte fundamental en la resiliencia de los ecosistemas coseros frente al cambio climático y al desarrollo humano. A nivel federal, esta investigación responde al Eje 4 Desarrollo Sustentable del Plan Nacional de Desarrollo 2024-2030, en el cual se prioriza la conservación de la biodiversidad y el entendimiento de los ecosistemas para garantizar su conservación y protección a largo plazo, especialmente en áreas de importancia biológica y económica como lo es Mahahual, Quintana Roo. Finalmente, la relevancia de este trabajo, incide en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Debido a la naturaleza del manglar como una zona de transición esta investigación contribuye al ODS 13 al analizar componentes bióticos que regulan el ciclo del carbono en el suelo, favoreciendo los depósitos de carbono azul, esenciales para la mitigación del cambio climático. De igual forma contribuye al ODS 14, al documentar procesos de reciclaje de nutrientes, que forman parte de los procesos que realiza la fauna edáfica en cuanto a la productividad primaria de las lagunas costeras y de los humedales, vitales en la economía pesquera y turística de la región. También contribuye al ODS 6 al reconocer el rol que la mesofauna tiene en la porosidad y capacidad de filtración del suelo, proceso que es de importancia para la protección de los acuíferos de la Península de Yucatán. Por último, con el ODS 15 al documentar la estructura de las comunidades de la mesofauna en el manglar de Mahahual. La fauna edáfica representa un componente

esencial en el reciclaje de nutrientes y en la salud del suelo. Por lo tanto, la investigación visibiliza a esta biodiversidad presente en el suelo, aportando al conocimiento científico el valor de los procesos que llevan a cabo estos organismos y que pueden ser útiles para la planificación y conservación local de los sitios donde se realizó el trabajo.

Este trabajo tiene como objetivo contribuir al conocimiento y listado taxonómico de la mesofauna asociada a la vegetación de manglar en la franja costera de Mahahual, ubicada en el sur del estado de Quintana Roo. Representa un avance significativo en la comprensión de la dinámica de las comunidades de mesofauna en esta región, constituye una referencia para investigaciones futuras relacionadas con el aprovechamiento, conservación o degradación del suelo como consecuencia de actividades antropogénicas.

De igual forma, este estudio permite analizar cómo es la variación en la composición y estructura de las comunidades de la mesofauna en distintos sitios con vegetación de manglar a lo largo de la franja costera de Mahahual, lo cual contribuye con información relevante para la evaluación ecológica de estos ecosistemas.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Analizar la comunidad de mesofauna presente en un ecosistema de manglar y su relación con las condiciones ambientales y de vegetación.

5.2. Objetivos específicos

- Determinar la composición y abundancia de la mesofauna en el ecosistema de manglar.
- Obtener la variación en la estructura de la comunidad de la mesofauna entre sitios con diferente composición vegetal dentro del ecosistema de manglar.
- Determinar la relación entre la composición y abundancia de la mesofauna y las variables de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

El estudio se efectuó en el margen costero de Mahahual, Quintana Roo, México, en un ecosistema dominado por vegetación de manglar (Figura 1). Mahahual se localiza en la latitud 18°43'58"N y longitud 87°41'31"O, en la región conocida como “Costa Maya” (SEDETUS, 2021). Mahahual tiene una extensión de 3,373.25 has (SEDETUS, 2021) y una población de 2,636 habitantes (INEGI, 2020).

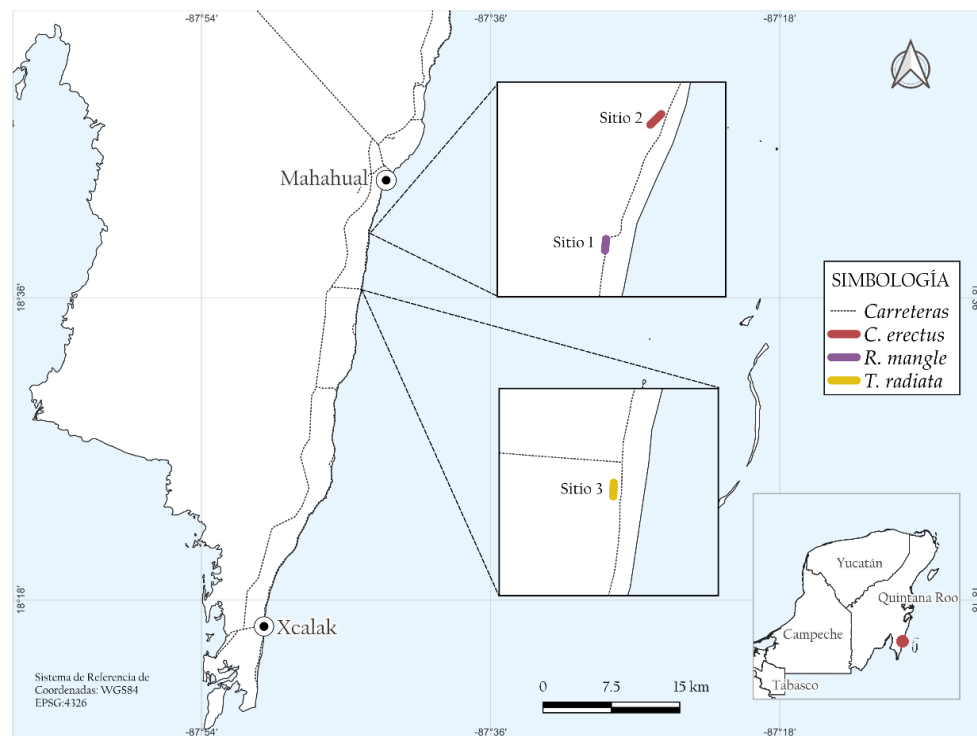


Figura 1. Mapa de la ubicación de los sitios de muestreo en Mahahual, Quintana Roo.

6.1.1. Clima

El clima de Mahahual, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (1964), es cálido subhúmedo con lluvias en verano; la humedad registra el 93% en julio y 8.9% en marzo; la precipitación media anual es de 1,249 mm; la

temperatura media es de 28.5 °C, siendo la máxima de 35.3°C en junio y la mínima de 14.2°C en enero (SEDETUS, 2021). La Península de Yucatán está determinada por tres temporadas climáticas: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y nortes (noviembre- febrero) (Zaldívar et al., 2004).

6.1.2. Geología

El estado de Quintana Roo tiene un origen que se remonta al Mesozoico. Durante el Cenozoico, comenzó el ascenso de la plataforma continental, conformada por rocas evaporíticas, clásticas y carbonatadas, como la dolomita, el yeso y la caliza (Ramos, 1975). Esta región se caracteriza por presentar una planicie rocosa (Fragoso-Servón et al., 2014). Mahahual se localiza dentro de la subprovincia fisiográfica conocida como Costa Baja de Quintana Roo, a una altitud de 5 m sobre el nivel del mar (SEDETUS, 2021).

6.1.3. Suelo

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de suelos de tipo Regosol calcárico (INIFAP & CONABIO, 1995). Los Regosoles son suelos relativamente recientes, se distinguen por sus colores claros y un perfil poco desarrollado, ya que se forman a partir de materiales poco consolidados (SEMARNAT, 2019).

6.1.4. Vegetación

Mahahual tiene presencia de vegetación de duna costera, manglar, vegetación secundaria arbustiva de selva baja subperennifolia, matorral costero y zonas perturbadas por acciones naturales o antropogénicas (SEDETUS, 2021; SEMARNAT, 2019). De acuerdo con el INEGI, en los Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, Serie VII de 2021, Mahahual tiene predominancia de vegetación de manglar (INEGI, 2021).

6.2. Trabajo de campo

La recolección del material para este estudio se llevó a cabo en el año 2023. Se efectuaron tres colectas, una en el mes de febrero correspondiente a la temporada de nortes, una en marzo temporada de secas y una en noviembre correspondiente a la temporada de nortes. Se seleccionaron tres sitios de muestreo dentro del ecosistema de manglar, diferenciados entre sí por la presencia de distintas especies vegetales. El sitio 1 presenta dominancia de la especie *Rhizophora mangle*, el sitio 2 de *Conocarpus erectus* y el sitio 3 de *Thrinax radiata*.

Se estableció un transecto lineal de 50 metros dentro de cada sitio de muestreo. A lo largo de este transecto se colectaron seis muestras de hojarasca con parte de sedimento, cada una con dimensiones de 15x15 cm. Las muestras se tomaron a intervalos de 10 metros, comenzando en el punto cero (Figura 2), con el objetivo de obtener una representación espacialmente distribuida de la mesofauna presente en el sitio, obteniendo un total de 54 muestras. Las muestras se colocaron dentro de bolsas de plástico etiquetadas con los siguientes datos: sitio, número de muestra, fecha y nombre de los colectores. En cada punto de muestreo se registraron *in situ* la temperatura y la humedad utilizando un termohigrómetro. Estas mediciones se realizaron de manera simultánea a la recolección de las muestras. Las muestras se trasladaron al Instituto Tecnológico de Chetumal para su procesamiento.

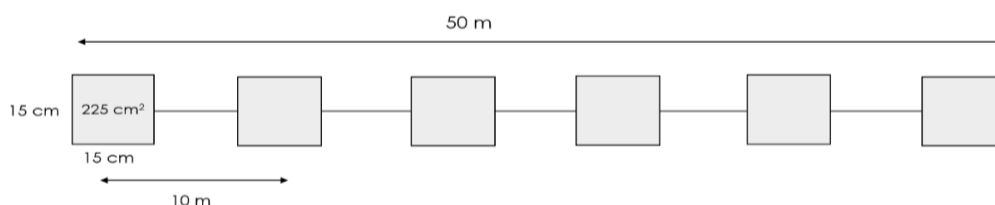


Figura 2. Transecto de 50 m con los cuadrantes para la toma de las muestras en cada sitio.

6.3. Trabajo de laboratorio

6.3.1. Extracción, revisión y cuantificación de organismos

Las muestras recolectadas fueron procesadas mediante embudos Berlese-Tullgren durante un periodo de siete días a temperatura ambiente. En la parte

superior del embudo se colocó una malla para sostener la muestra de suelo, permitiendo el paso de los organismos. En la base de cada embudo se colocó un recipiente colector con alcohol al 70%, utilizado para la preservación de los ejemplares colectados (Figura 3).



Figura 3. Embudo de Berlese-Tullgren para la recuperación de organismos de la hojarasca y el suelo.

El principio por el cual funciona el embudo es la capacidad de movimiento de los organismos hacia abajo; conforme la muestra se va secando, los organismos van pasando a través de la malla, cayendo hasta el recipiente con alcohol. Posteriormente, los organismos extraídos fueron revisados, identificados hasta nivel Orden y cuantificados utilizando microscopio estereoscópico. Para la identificación taxonómica se empleó literatura especializada en artrópodos edáficos (Palacios-Vargas et al. 2014), ácaros Mesostigmata, Prostigmata (Krantz & Walter 2009) y Oribatida (Balogh & Balogh, 1988;1990).

Para aquellos organismos que no pudieron ser identificados con las guías taxonómicas, se realizaron preparaciones permanentes con el fin de facilitar la observación de sus estructuras morfológicas. Estas preparaciones fueron analizadas utilizando un microscopio óptico, lo que permitió mejorar la identificación taxonómica del organismo.

6.3.2. Preparación de muestras

Para realizar esta preparación fue necesario aclarar los organismos. Para la aclaración se utilizó lactofenol, debido a que no es agresivo ni destructivo (Krantz, 1978), por lo que los organismos pueden dejarse de una a dos semanas (dependiendo qué tan esclerosados estén) y éstos se irán aclarando sin sufrir algún daño en sus estructuras. Para el caso de los prostigmata, pueden aclararse en un día o dos, debido a que no son tan esclerosados (Krantz, 1978).

Cuando los organismos se aclararon, se colocó al organismo en agua destilada para limpiarlo, posteriormente se colocó una gota de líquido de Hoyer en el centro de un portaobjetos (Krantz, 1978). Con mucho cuidado se colocó al organismo en la gota y con el apoyo de agujas de disección se le dispuso un cubreobjetos sobre él, haciendo un poco de presión para que el líquido se extienda (Palacios-Vargas & Mejía, 2007) (Figura 4). Posteriormente, los portaobjetos con los organismos se colocaron dentro de la estufa a 50°C por dos semanas, esto debido a que este líquido es una mezcla que tiende a hidratarse lo que puede provocar daños a las colecciones (Krantz, 1978). Una vez secos, estos se sellaron con barniz transparente y se colocaron en una caja para su resguardo.

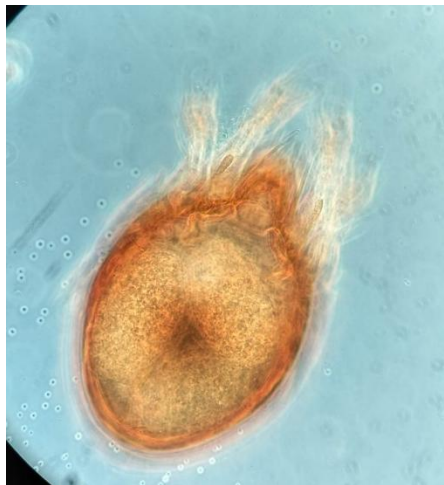


Figura 4. Ácaro oribátido montado en preparación permanente para su identificación taxonómica.

6.3.3. Análisis de pH

El pH se determinó a partir de las muestras de suelo que fueron previamente secadas a 40°C durante 48 horas y molidas hasta pasar por un tamiz de 2 mm. Como referencia metodológica, se utilizaron los lineamientos de Gavlak et al. (2003) y el protocolo de INIA realizado por INIA La Estanzuela, sugerido por Capurro et al. en «Técnicas empleadas en análisis de rutina en el laboratorio del proyecto suelos-mayo 1978» (no publicado) (Beretta et al., 2014). Para ello se preparó una suspensión con 20 g de suelo y 50 ml de agua desionizada, la cual se agitó durante tres minutos. Después de 15 minutos se procedió a realizar la lectura del pH en el sobrenadante.

6.4. Análisis Estadísticos

Para el análisis estadístico se consideraron las abundancias y densidades de los organismos identificados. Los datos fueron procesados utilizando los programas Microsoft Excel, PAST y Statgraphics Plus. Como parámetros utilizados para conocer la estructura de la comunidad de la mesofauna se calculó la abundancia relativa, las densidades, el índice de Shannon-Wiener, la equitatividad de Pielou y la dominancia de Simpson. Mediante una prueba T de Hutcheson, se compararon los índices de diversidad obtenidos para determinar si las diferencias observadas en la diversidad entre los sitios fueron estadísticamente significativas. Para comparar la composición entre sitios se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis. El análisis de varianza (ANOVA) de dos vías se aplicó para determinar si existían diferencias significativas entre los sitios y fechas de colecta con las densidades de los organismos. En los casos donde se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), se aplicó la prueba *post hoc* Tukey HSD (Honestly Significant Difference). Por último, el efecto de los parámetros físicos y químicos sobre la comunidad de la mesofauna se evaluó mediante un análisis de correspondencia canónica.

Abundancia relativa (%)

La abundancia relativa nos indica qué proporción representa cada taxón respecto al total de los individuos presentes (Moreno, 2001).

$$Abundancia\ relativa = \frac{n}{N} \times 100$$

Donde:

n = Total de individuos de cada taxón

N = Total de individuos presentes

Índice de Shannon-Wiener

El índice de Shannon-Wiener se empleó para estimar la diversidad considerando tanto la riqueza como la equitatividad en la distribución de los organismos. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Moreno, 2001).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde

Pi = es la abundancia relativa del Orden

Equitatividad de Pielou (J')

La equitatividad de Pielou evaluó qué tan equitativamente estaban distribuidos los individuos entre los diferentes grupos taxonómicos (Ordenes, en este caso) en la comunidad; sus valores son de 0 a 0.1; el 0.1 nos va a indicar que los grupos son igual de abundantes (Moreno, 2001).

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde $H'_{max} = \ln(S)$ y donde S es el número de Ordenes.

Dominancia de Simpson (λ)

La dominancia de Simpson, determinó la probabilidad de que dos individuos elegidos aleatoriamente en una comunidad pertenecieran al mismo Orden (Magurran, 1988). Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcular como $1-\lambda$ (Moreno, 2001). Mientras más alta es esta probabilidad menos diversa es la comunidad.

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde

Pi = Es la abundancia proporcional del Orden i (número de individuos del orden i entre número total de individuos de la muestra).

Prueba T de Hutcheson

La prueba T de Hutchenson se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre las diversidades de los sitios (Zar, 2010). Se calculó:

a) Índice de diversidad ponderado:

$$Hp = \frac{(N \log \log N) - (\sum fi \log \log fi)}{N}$$

Donde:

fi = frecuencia (número de individuos) registrado para la especie i

b) Varianza del índice ponderado Hp

$$var = \frac{[\sum fi \log^2 fi - (\sum fi \log \log fi)^2] / N}{N^2}$$

c) Diferencia de varianzas

$$Dvar = \sqrt{var_1 + var_2}$$

d) Valor de t

$$t = \frac{Hp_1 - Hp_2}{Dvar}$$

e) Grados de libertad asociados con el valor de t:

$$g.l. = \frac{(var_1 + var_2)^2}{(var_1^2/N_1) + (var_2^2/N_2)}$$

Índice de Bray-Curtis

El índice de similitud de Bray- Curtis se considera como una medida de la diferencia entre las abundancias de cada Orden presente (Brower & Zar, 1984). Nos permitió evaluar la similitud en la composición de la comunidad de la mesofauna entre los sitios de muestreo. A partir de la matriz de similitud generada se construyó un dendrograma, el cual permitió visualizar las relaciones de similitud entre los sitios, agrupándolos según la estructura de sus comunidades.

Análisis de Varianza (ANOVA)

La ANOVA es una prueba estadística desarrollada para comparar las medias de más de dos grupos (Rubio-Hurtado & Berlanga-Silvente, 2012). Los datos no presentaron una distribución normal por lo que fue necesario normalizarlos con la corrección estadística $\sqrt{(x + 0.5)}$ (Zar, 2010). Se aplicó el ANOVA con el objetivo de evaluar el efecto de los sitios de muestreo y la fecha de colecta sobre las densidades de los Ordenes. Este análisis permitió identificar diferencias significativas tanto entre sitios como entre fechas, así como posibles interacciones entre ambos factores en relación con los grupos registrados.

Prueba post hoc Tuckey

La prueba HSD de Tukey se utiliza para comparar todas las medias entre grupos después de un ANOVA, controlando el error tipo I al realizar múltiples comparaciones. Este método es apropiado cuando se desea evaluar todas las comparaciones por pares entre los grupos. El estadístico de prueba HSD para cada par de medias se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$HSD = \frac{M_i - M_j}{\sqrt{\frac{MSE}{n}}}$$

Dónde $M_i - M_j$ es la diferencia entre el par de medias utilizadas para calcular esto, de modo que $M_i \geq M_j$; MSE es el error cuadrático medio; y n es el número de observaciones en cada grupo o tratamiento.

Análisis de Correspondencia Canónica

El Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) es una técnica multivariada que se utiliza para evaluar las relaciones entre variables biológicas y ambientales. El ACC permite identificar los gradientes ambientales que influyen en los cambios de la estructura de las comunidades biológicas (ter Braak, 1986). El ACC se empleó para examinar la relación entre la estructura de la comunidad de mesofauna edáfica y las variables ambientales registradas en cada sitio de muestreo. Esta técnica de ordenación permitió identificar los gradientes ambientales más influyentes en la distribución y abundancia de los grupos de la mesofauna edáfica, así como evaluar

la contribución relativa de la humedad, pH, temperatura y la conductividad eléctrica en la estructuración de la comunidad.

7. RESULTADOS

7.1 Abundancia y riqueza

Se colectaron un total de 14,270 organismos, pertenecientes a 9 clases y 23 Ordenes (Tabla 1). La clase Insecta fue la más diversa agrupando a 11 órdenes. De manera general, los ácaros presentaron mayor abundancia con el 81% del total de organismos colectados, seguido de la clase Insecta con 9%, Collembola y Malacostraca con 4% cada uno, y otros organismos con 1% (Figura 5).

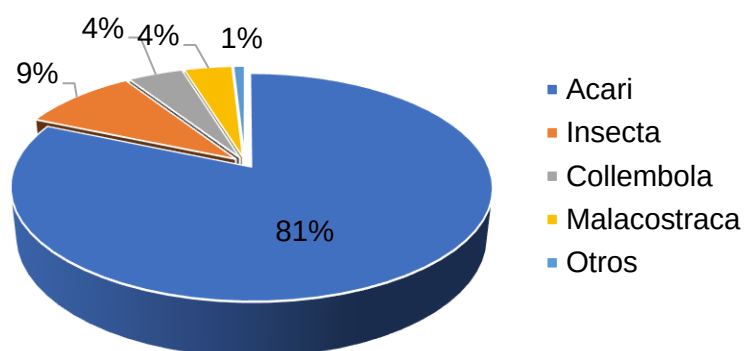


Figura 5. Porcentaje de distribución de los grupos registrados en vegetación costera de Mahahual, Quintana Roo.

Tabla 1. Abundancia absoluta, riqueza de taxa, diversidad, equitatividad y dominancia de la mesofauna en los sitios de colecta en Mahahual, Quintana Roo.

FILO	CLASE	ORDEN	SITIOS DE COLECTA			TOTAL
			S1 <i>R. mangle</i>	S2 <i>C. erectus</i>	S3 <i>T. radiata</i>	
Arthropoda	Arachnida	Oribátida	1943	1569	1714	5226
		Mesostigmata	991	411	357	1759
		Prostigmata	378	497	179	1054
		Astigmata	670	2494	419	3583
		Araneae	21	28	10	59
		Pseudoescorpionida	2	0	6	8
	Collembola	Symphyleona	335	4	66	405
		Poduromorpha	3	4	3	10
		Entomobryomorpha	123	41	55	219
	Insecta	Hymenoptera	25	159	15	199
		Coleóptera	59	86	100	245
		Díptera	51	45	151	247
		Psocóptera	173	112	276	561
		Embióptera	0	1	0	1
		Blattodea	1	0	0	1
		Thysanóptera	4	1	6	11
		Neuróptera	0	0	1	1
		Lepidóptera	1	0	0	1
		Hemíptera	25	10	32	67
		Heteróptera	1	1	0	2
	Chilópoda	-	0	2	1	3
	Diplópoda	-	3	5	1	9
	Diplura	-	1	9	7	17
	Malacostraca	Amphipoda	5	15	0	20
		Isópoda	113	173	245	531
Annelida	Clitellata	Crassiclitellata	4	4	19	27
	Polychaeta	-	4	0	0	4
Abundancia			4936	5671	3663	14270
Riqueza			24	22	21	
Equitatividad J'			0.584	0.528	0.614	
Diversidad H'			1.856	1.634	1.872	
Dominancia λ			0.773	0.714	0.743	

El Orden más abundante fue el de ácaros Oribátida con un 37% del total de organismos registrados. El orden Astigmata tuvo 25%, seguido del orden

Mesostigmata con 12%, Prostigmata 7%, Psocóptera e Isópoda con 4% cada uno y el 11% lo agrupan otros organismos (Figura 6).

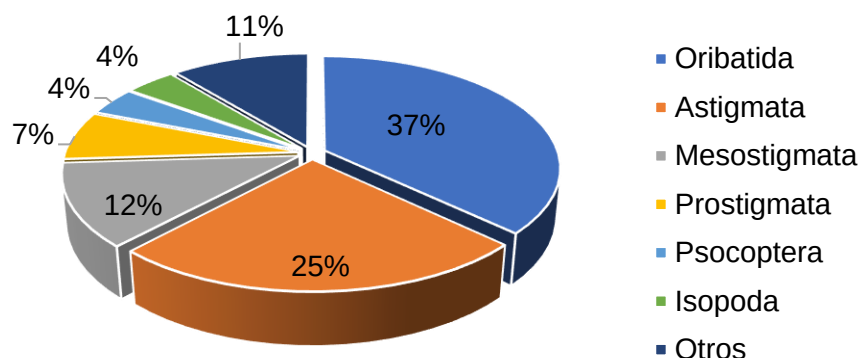


Figura 6. Porcentaje de abundancia de organismos encontrados en manglar de Mahahual, Quintana Roo.

Variación espacial de la mesofauna en manglar de Mahahual

En el caso del sitio 1 con dominancia de *R. mangle*, su abundancia fue de 4936 organismos, para el sitio 2 con *C. erectus* de 5671 y para el sitio 3 con *T. radiata* de 3663 (Tabla 1). En el caso del sitio con *R. mangle*, el orden Oribatida (39%) presentó la mayor abundancia, seguido de Mesostigmata (20%), Astigmata (13%), Prostigmata (8%), Symphypleona (7%) y otros ordenes presentaron 13% del total (Figura 7).

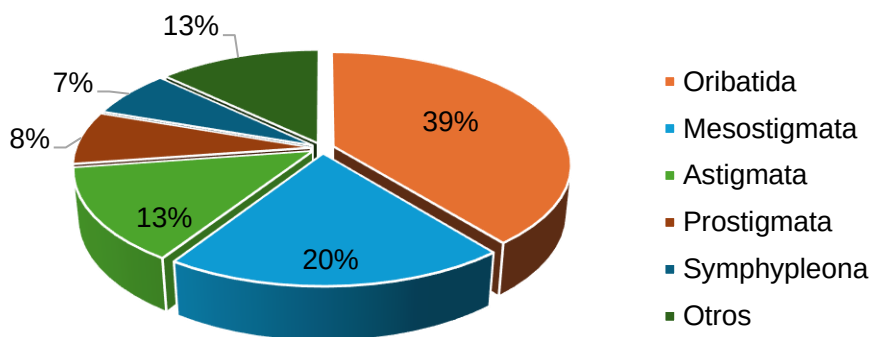


Figura 7. Abundancia relativa de los grupos de organismos colectados en el manglar en el sitio con dominancia de *R. mangle*.

Para el sitio con presencia de *C. erectus*, el orden Astigmata (44%) fue el orden con mayor abundancia, seguido de Oribátida (28%), Prostigmata (9%), Mesostigmata (7%), Isópoda (3%) y el resto de los organismos conformaron el 9% (Figura 8).

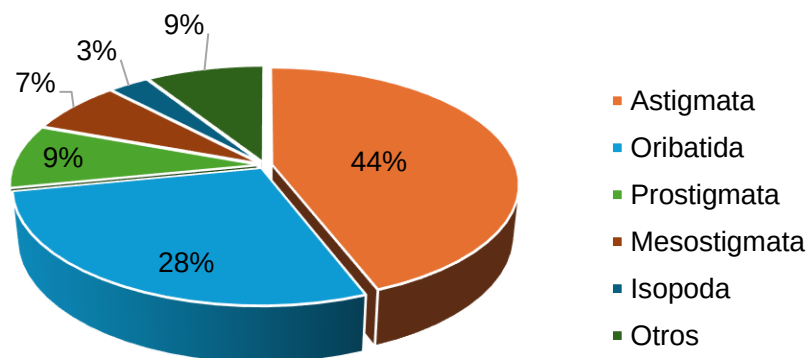


Figura 8. Abundancia relativa de los grupos de organismos colectados en el manglar en el sitio con dominancia de *C. erectus*.

Finalmente, en el caso del sitio con dominancia de *T. radiata*, el orden Oribátida (47%) obtuvo la mayor abundancia, seguido del orden Astigmata (11%), Mesostigmata (10%), Psocóptera (7%), Isópoda (7%) y otros organismos conformaron el 18% (Figura 9).

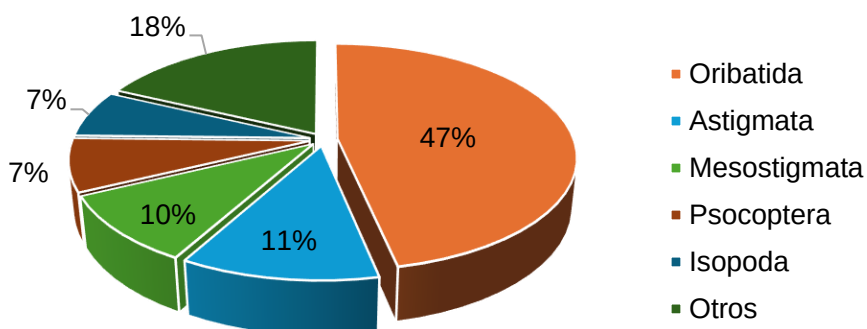


Figura 9. Abundancia relativa de los grupos de organismos colectados en el manglar en el sitio con dominancia de *T. radiata*.

Variación temporal de la mesofauna en manglar de Mahahual

Las colectas se realizaron en tres meses: febrero, marzo y noviembre de 2023. En el mes de febrero, la mayor temperatura se registró en el sitio 3 con 31.8°C, con una humedad de 52%; la menor temperatura se registró en el sitio 2 con 28.8 °C con una humedad del 67%. En el mes de marzo, la temperatura fue muy similar en los tres sitios, sin embargo, puede observarse una pequeña diferencia en el sitio 1, que obtuvo la mayor temperatura con 32.6 °C con una humedad de 56%; y la temperatura más baja se presentó en el sitio 3 con 32.1 °C con una humedad de 58%. Por último, en el mes de noviembre, la temperatura más baja se registró en el sitio 1 con 30.7 °C con una humedad de 69% y la temperatura más baja en el sitio 2 con 29.9 °C con una humedad de 59% (Tabla 2).

Tabla 2. Promedio de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctricas de los sitios de muestreo en manglar.

	Febrero			Marzo			Noviembre		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Temperatura	30.2	28.8	31.8	32.6	32.2	32.1	30.7	29.9	30.2
Humedad	61%	67%	52%	56%	58%	58%	69%	59%	65%
pH	6.32	6.95	7.07	6.43	6.7	6.8	7.36	6.82	6.81
Conductividad eléctrica (µS/cm)	3862.5	1946.66	1192	3655	4323.83	3012.83	3293	1938.33	1103.66
Abundancia Total	836	992	1385	2537	1388	1013	1563	3291	1265

En el sitio 1 se registraron 836 individuos en la primera muestra de febrero, 2537 individuos en temporada de marzo y 1563 en la segunda muestra de noviembre. Para el caso del sitio 2, se registraron 992 individuos en la primera muestra de febrero, 1388 individuos en marzo y 3291 individuos en la muestra de noviembre. Por último, en el sitio 3 se registraron 1385 individuos en la muestra de febrero, 1013 individuos en el mes de marzo y 1265 individuos en noviembre (Tabla 2).

La mayor abundancia se registró en el sitio 2 con dominancia de *C. erectus*, con 3291 organismos durante el mes de noviembre y la menor abundancia se

registró en el sitio 1 con dominancia de *R. mangle*, en el mes de febrero con 836 organismos (Figura 10).

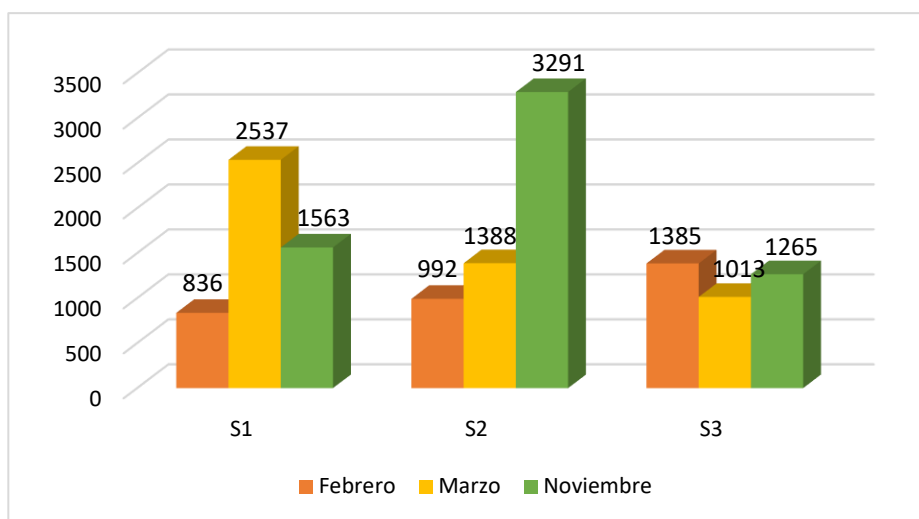


Figura 10. Abundancia de la mesofauna por sitio y por mes de colecta.

7.2. Índices de diversidad

El valor más alto de diversidad se registró en el sitio con dominancia de *T. radita* $H'=1.872$, también presentó el valor más alto de equitatividad $J'=0.614$ y el nivel más alto de dominancia $\lambda=0.743$. El menor índice de diversidad se registró en *C. erectus* $H'=1.634$, presentando también, la menor equitatividad $J'=0.528$ y dominancia $\lambda=0.714$. En el caso de *R. mangle*, presentó un índice de diversidad de $H'=1.856$, una equitatividad de $J'=0.584$ y dominancia de $\lambda=0.773$. (Tabla 1)

7.2.1. Prueba t de Hutcheson

La prueba "t" de Hutcheson (1970) indicó que existe diferencia significativa en la diversidad entre los sitios con dominancia de *R. mangle* y *C. erectus* ($t_{(10542.53)}=10.12$, $p<0.05$) y entre los sitios con dominancia de *C. erectus* y *T. radiata* ($t_{(7582.30)}=9.39$, $p<0.05$), mientras que entre el sitio con *R. mangle* y *T. radiata* no se encontraron diferencias significativas (Tabla 3). Este resultado sugiere que el sitio 2 con *C. erectus* presenta una estructura de diversidad distinta en comparación con los otros sitios.

Tabla 3. Diferencias entre las diversidades en los tres sitios con vegetación de manglar.

	<i>R. mangle</i>	<i>C. erectus</i>	<i>T. radiata</i>
<i>R. mangle</i>		* $t_{(10542.53)}=10.12$ $p<0.05$	$t_{(7420.44)}=0.61$ $p>0.05$
<i>C. erectus</i>			* $t_{(7582.30)}=9.39$ $p<0.05$
<i>T. radiata</i>			

* diferencias significativas.

7.5. Índice de Bray Curtis

El análisis de similitud mediante un dendrograma mostró que el sitio 1 dominado por *R. mangle* y el sitio 3 dominado por *T. radiata* presentaron una mayor cercanía en su composición faunística, agrupándose con una similitud del 75.61%. Los órdenes Oribátida, Astigmata y Mesostigmata fueron los que más contribuyeron a esta similitud en la composición de la mesofauna edáfica (Figura 11).

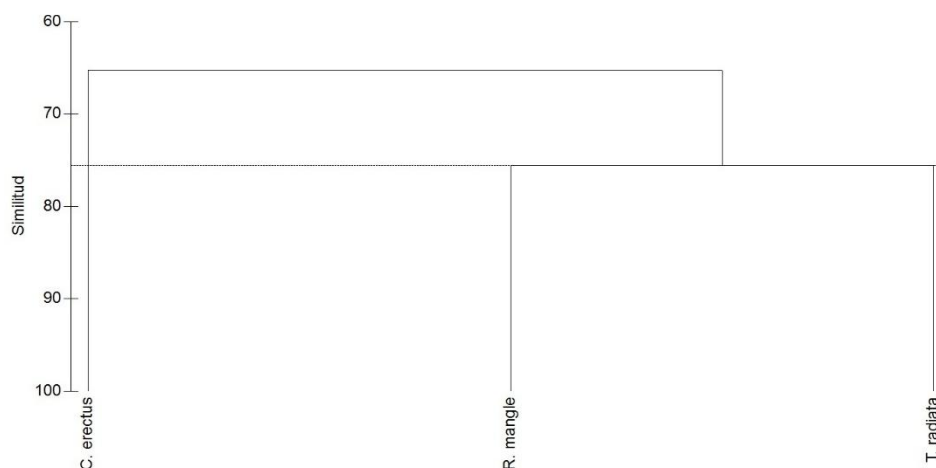


Figura 11. Dendrograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis de la mesofauna encontrada en manglar de Mahahual, Q. Roo.

7.3. Análisis de Varianza (ANOVA)

Se realizó un análisis de varianza multifactorial para evaluar los cambios en la comunidad de la mesofauna. Los resultados indicaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los meses de muestreo ($F=2.94$; $p=0.0629$), ni entre los diferentes sitios de manglar ($F=0.94$; $p=0.3972$). En términos generales, no se encontraron diferencias significativas en la densidad total de la mesofauna entre los distintos sitios ni entre las fechas de colecta. Sin embargo, algunos grupos taxonómicos sí mostraron variaciones significativas, tanto para la fecha de colecta como para el sitio de muestreo. Esto indica que las respuestas de los organismos no son igual entre grupos y que algunos pueden estar influenciados por condiciones ambientales específicas de cada sitio o por las variaciones ambientales registradas en la fecha que se colectaron.

Para el caso de los ácaros Astigmata, el análisis de varianza encontró diferencias significativas entre la fecha de muestreo ($F=7.39$; $p=0.0017$) y entre los sitios ($F=6.91$; $p=0.0024$). De acuerdo con la prueba de comparación Tuckey, se determinó que el sitio dominado por S2 mostró una densidad significativamente mayor que S1 y S3, los cuales fueron estadísticamente similares. Entre las fechas de colecta, marzo y noviembre presentaron valores significativamente mayores que febrero (Figura 12). Asimismo, se detectó una interacción entre la fecha y el sitio estadísticamente significativa ($F=3.91$; $p=0.0083$), lo que indica que los valores de Astigmata cambiaron entre los sitios según el mes.

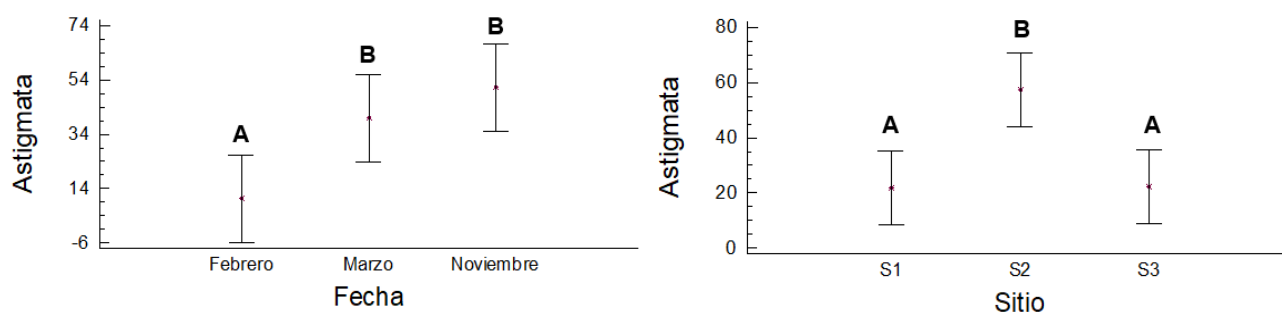


Figura 12. Variación de la densidad de Astigmata (ind/m²) por fecha y sitio de colecta en manglar. S1 (*R. mangle*), S2 (*C. erectus*) y S3 (*T. radiata*). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

Para el orden Symphypleona, el análisis reveló diferencias significativas tanto en la fecha de colecta ($F=6.24$; $p=0.0041$), como entre los sitios ($F=9.02$; $p=0.0005$). Además, la

interacción entre la fecha y el sitio de muestreo resultó estadísticamente significativa ($F=3.87$; $p=0.0087$). La prueba de Tukey demostró que S1 presentó la mayor densidad, diferenciándose significativamente de S2 y S3, mientras que entre S2 y S3 no se observaron diferencias significativas. En cuanto a la Fecha, febrero y marzo presentaron valores estadísticamente similares, siendo muy diferentes al mes de noviembre, que mostró diferencias significativas respecto a ambos meses (Figura 13). La interacción significativa indica que la densidad de *Symphyleona* cambió según el mes y el sitio, por lo que ambos factores estuvieron relacionados.

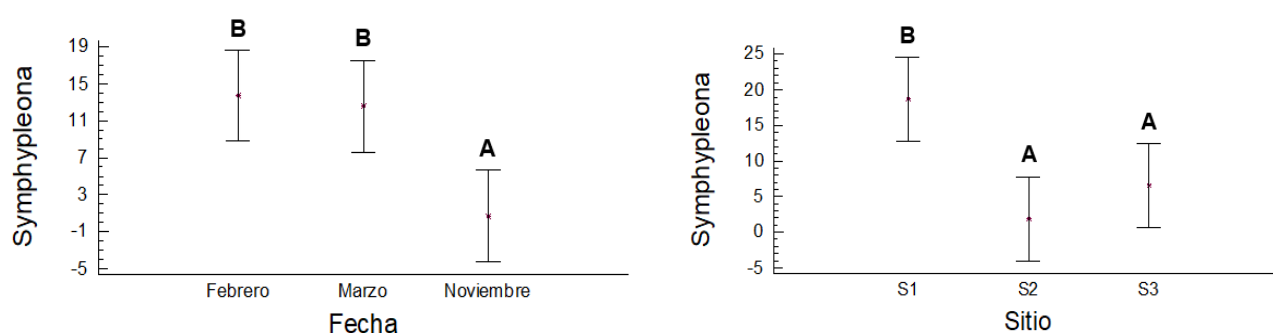


Figura 13. Variación de la densidad de *Symphyleona* (ind/m²) por fecha y sitio de colecta en manglar. S1 (*R. mangle*), S2 (*C. erectus*) y S3 (*T. radiata*). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

El análisis de varianza para Psocóptera mostró diferencias significativas entre los meses de colecta ($F=28.22$; $p<0.001$), mientras que para los sitios del manglar no se encontraron diferencias significativas ($F=0.56$; $p=0.5747$). La prueba de Tuckey nos mostró que noviembre presentó una densidad significativamente mayor de febrero y marzo. Por otro lado, los tres sitios presentaron valores estadísticamente similares (Figura 14). La densidad de Psocóptera presentó una variación temporal, pero no espacial. Asimismo, la interacción entre mes y sitio no fue significativa ($F=0.47$; $p=0.7601$) lo que indica que su comportamiento cambió según el mes, no según la combinación de mes y sitio.

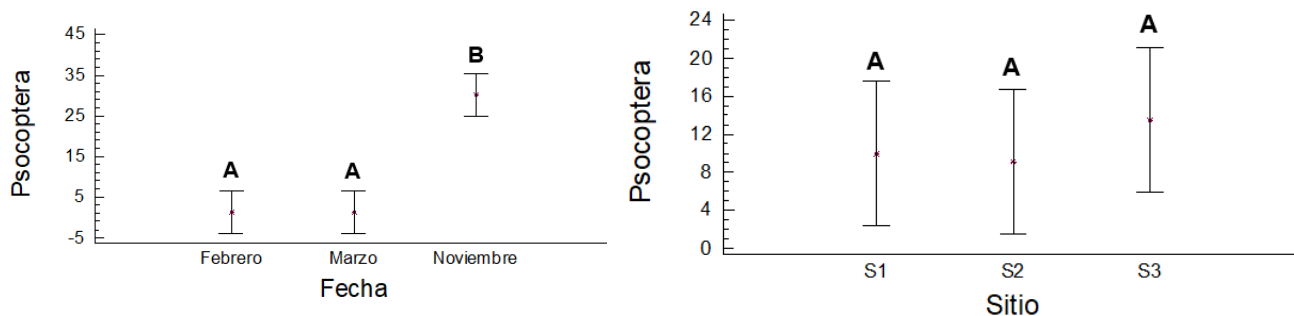


Figura 14. Variación de la densidad de Psocóptera (ind/m²) por fecha y sitio de colecta en manglar. S1 (*R. mangle*), S2 (*C. erectus*) y S3 (*T. radiata*). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

7.6. Análisis de Correspondencia Canónica

El Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) permitió explorar la relación entre la composición de los grupos de la mesofauna y las variables ambientales medidas en los sitios de muestreo (Figura 15). Los valores positivos están asociados a la humedad, mientras que los negativos a la temperatura. En el eje vertical se relacionó la conductividad eléctrica con los valores positivos y el pH con los valores negativos.

El sitio 1 con presencia de *R. mangle*, se ubica cerca del origen, lo que indica condiciones ambientales intermedias. Esto derivado de las condiciones relativamente estables del ambiente del manglar con alta humedad, pero también con la influencia de salinidad moderada. El sitio 2 asociado con *C. erectus*, se localiza en el cuadrante derecho, con dirección al gradiente de mayor humedad. Esto sugiere que el sitio presenta condiciones más húmedas y con poca influencia salina, lo que coincide con la ecología de la especie, que normalmente se localiza en zonas de transición entre manglar y ambientes más secos. Por otro lado, el sitio 3 con presencia de *T. radiata*, se ubica en el lado izquierdo, el cual está asociado con mayor temperatura y menor humedad. Este resultado coincide con ambientes más secos, típicos de las zonas donde se desarrolla esta especie de palma.

La distribución de los grupos en los cuadrantes muestra estas diferencias ambientales. En el cuadrante superior derecho relacionado con mayor humedad y conductividad eléctrica, se muestran grupos como Heteróptera, Prostigmata, Araneae,

Amphipoda y Diplópoda, coincidentes con el Sitio 2. En el cuadrante inferior derecho, que está asociado a variaciones de pH, con menor humedad y menor conductividad eléctrica, se encontraron grupos como Diplura y Chilopoda, lo que sugiere tolerancia a condiciones más alcalinas. En el cuadrante superior izquierdo, vinculado a temperaturas altas, se ubicaron grupos como Polychaeta, Blattodea, Lepidóptera, Symphypleona Mesostigmata y Entomobryomorpha, posiblemente adaptadas a ambientes cálidos. Finalmente, en el cuadrante inferior izquierdo, que está caracterizado por menor humedad y mayor temperatura, se registraron grupos como Neuróptera, Crassiclitellata, Pseudoescorpionida, Díptera, Psocóptera y Thysanoptera, asociados a condiciones más secas, similares al sitio 3.

Este análisis sugiere que la estructura de la comunidad está influenciada principalmente por la humedad y temperatura, el cual coincide con el tipo de vegetación dominante en cada sitio.

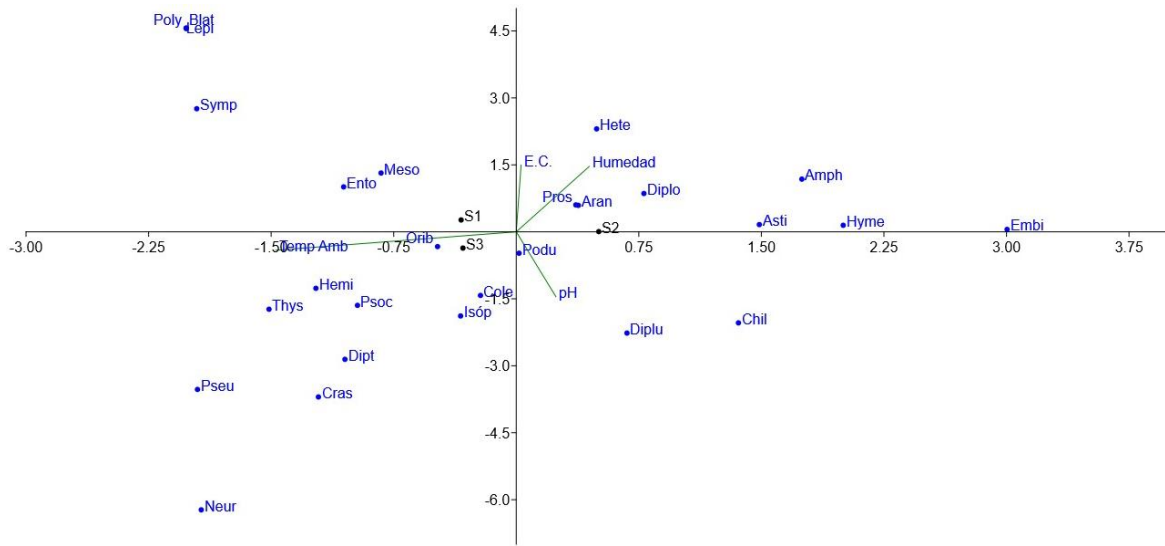


Figura 15. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de la mesofauna en tres sitios con vegetación de manglar en Mahahual, Q. Roo. Donde: Orib: Oribátida, Meso: Mesostigmata, Pros: Prostigmata, Asti: Astigmata, Aran: Araneae, Pseu: Pseudoescorpionida, Symp: Symphypleona, Podu: Poduromorpha, Ento: Entomobryomorpha, Hyme: Hymenoptera, Cole: Coleóptera, Dipt: Díptera, Psoc: Psocóptera, Embi: Embióptera, Blat: Blattodea, Thys: Thysanoptera, Neur: Neuroptera, Lepi: Lepidóptera, Hemi: Hemiptera, Hete: Heteróptera, Chil: Chilopoda, Diplo: Diplopoda, Diplu: Diplura, Amp: Amphipoda, Isop: Isópoda, Cras: Crassiclitellata, Poly: Polychaeta. E.C: conductividad eléctrica, Temp. Amb: temperatura ambiental. S1 (*R. mangle*), S2 (*C. erectus*) y S3 (*T. radiata*).

8. DISCUSIÓN

La composición de la comunidad de mesofauna en vegetación costera de Mahahual registra un total de 23 órdenes y 9 clases. De manera general, los oribátidos presentaron la mayor abundancia en los tres tipos de vegetación con respecto a los otros grupos colectados, similar a lo reportado por varios autores como Alamilla & May (2013), García-Gómez et al. (2014), Vázquez et al. (2016) y Cauich (2018).

En los tres sitios destaca la presencia de ácaros, sin embargo, también se observan grupos de la clase Collémbola, también del orden Coleóptera, Himenóptera, Díptera y Hemíptera, similar a lo obtenido por Manzano et al. (1989), en un estudio sobre insectos asociados a un manglar tropical en Colombia, donde también se encontraron dipluros, quilópodos, diplópodos y pseudoescorpiones.

El trabajo realizado por García-Gómez et al. (2014), en sitios con dos especies de manglar (*R. mangle* y *Avicennia nitida*) en la Isla de Cozumel, reportó grupos similares a los que se encontraron en el presente estudio; sin embargo, no reportaron la presencia del orden Astigmata, uno de los grupos de ácaros más abundantes en esta investigación. Este orden incluye especies comúnmente asociadas a aves y mamíferos, así como a las vísceras de algunos animales e incluso en las branquias de crustáceos, siendo muy pocas las especies que se encuentran en vida libre (Dabert & Mironov, 1999; Moreno, 2015). La aparición de este grupo en Mahahual puede deberse a las diferencias espacio temporales en que se realizaron las colectas, a la cobertura vegetal que compartían las especies con las que se trabajaron y a la fauna asociada a los sitios de muestreo.

En el sitio 1 con dominancia de *R. mangle*, se observa el orden Symphypleona de la clase Collembola, que, de acuerdo con el estudio de Samalot-Roque (2006), es un orden de colémbolos que habita espacios con presencia de *R. mangle* en Puerto Rico. De igual forma se observa que en el sitio con *R. mangle* hay bajas abundancias de insectos lo que puede deberse a la dureza y química de sus hojas, ya que de acuerdo con Choong et al. (1992), la alta dureza de las hojas

puede disminuir la palatabilidad y la digestibilidad de los insectos. Además, la presencia de taninos desempeña acciones de protección frente a los insectos (Sánchez et al., 2008). De esta forma se puede inferir que la presencia de colémbolos en *R. mangle*, se debe a la baja abundancia de insectos, debido a que los colémbolos son presa de muchos insectos, principalmente de hormigas y escarabajos, así como de numerosos ácaros depredadores (Palacios–Vargas et al., 2000). En el estudio realizado por Alayola (2016) se encontró que Oribátida, Mesostigmata, Collembola y Prostigmata son de los principales grupos que abundan en sitios con manglar, tal y como sucede en este caso en Mahahual, donde aparecen colémbolos y ácaros de esos mismos grupos en el sitio con presencia de *R. mangle*. Lo mismo sucede en el estudio realizado por Cooch & Medina (2018), donde mencionan que en el manglar encontraron la mayor abundancia de grupos de ácaros, principalmente Oribátida, además de encontrar grupos de colémbolos.

En cuanto a diversidad, en el trabajo realizado por Cauich (2018) se obtuvo una diversidad de $H'=1.77$ en *C. erectus*, siendo similar a la que se registró en este estudio $H'=1.634$ en el sitio con presencia de esa misma especie. García-Gómez (2014) registró una diversidad de $H'=1.31$ en *R. mangle*, mientras que en este estudio para el sitio con presencia de esta especie se obtuvo una diversidad de $H'=1.856$, esto posiblemente a los meses en que se realizaron las colectas y a la ubicación de los sitios de muestreo.

A nivel de composición de la mesofauna, los hábitats de *T. radiata* y *R. mangle* mostraron una afinidad notable, agrupándose con un índice de similitud del 75.61%. Este resultado demuestra que, aunque los dos sitios se ven muy diferentes, las condiciones edáficas pueden proporcionar un hábitat funcionalmente similar para estos organismos. Esta similitud de grupos se atribuye, a muy probablemente, el transporte y la acumulación de materia orgánica entre ambos sitios (Adame & Lovelock, 2011).

La ausencia de efectos estadísticamente significativos tanto para el sitio de colecta como para la fecha demuestra que existe un equilibrio en el suelo, demostrando que el entorno es capaz de conservar su estructura frente a cambios

externo. En cuanto a la variabilidad espacial la homogeneidad observada en los sitios de muestreo indica que las condiciones fisicoquímicas y ambientales son similares, probablemente favorecido por la conectividad hidrológica del estado (Kauffer & Villanueva, 2011). En cuanto a la fecha de colecta, a pesar de que se muestra una tendencia hacia la variación ($p=0.0629$), demuestra que existe una resiliencia de la fauna edáfica ante los cambios en el ambiente de la temporada. Los ácaros Sarcoptriformes (incluye a los Astigmata), es el grupo más diverso en el suelo (Pérez et al., 2014). La preferencia de este grupo por el sitio con *C. erectus* en el mes de noviembre se explica por la presencia de esta especie en zonas de transición más secas, lo que permite la descomposición de la hojarasca, ideal para los detritívoros tras la época de lluvias. En concordancia con lo reportado por Palacios-Vargas (2014), en el caso de Symphypleona, estos poseen cuerpos globosos y hábitos epiedáficos. Esta morfología y su habilidad para caminar y hasta brincar sobre el agua puede explicar su gran densidad en el sitio con *R. mangle*. Dado que el mangle rojo se presenta en zonas frecuentemente inundadas o con alta humedad, ofrece el hábitat ideal para estos organismos, especialmente en febrero y marzo, cuando las condiciones de humedad podrían ser muy bajas en *T. radiata*. En cuanto a la interacción obtenida en el orden Isopoda, la mayor densidad se obtuvo en *T. radiata* y el valor más alto en el mes de febrero. Según Warburg (1968) los isópodos son organismos sensibles a la falta de agua, necesitan microambientes que no se sequen. Para el mes de febrero la base de la palma *T. radiata* funciona como un refugio que retiene mejor la humedad (Olmsted & Ercilla, 1988). Cuando las condiciones cambian al final del año los isópodos se mudan a zonas más húmedas del manglar para no morir por falta de agua.

En el Caribe mexicano, la vegetación con especies como *R. mangle* desempeña un papel crucial al amortiguar los cambios de temperatura y humedad (Zhao et al., 2022). Esta estabilidad es fundamental para el mantenimiento de los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes (Lima, R. & Colpo, K., 2014), sugiriendo que, durante el periodo de estudio, el ecosistema no presentó perturbaciones grandes como para alterar la composición de la fauna del suelo.

9. CONCLUSIONES

En los tres sitios de estudio, pertenecientes al ecosistema de manglar y caracterizados por la dominancia de diferentes especies vegetales, se registraron un total de 14,270 organismos del suelo. El sitio dominado por *C. erectus* presentó la mayor cantidad de organismos. Se observó que los ácaros oribátidos presentaron la mayor abundancia en cada uno de los tres sitios estudiados, confirmando que es un grupo cosmopolita, es decir, que podemos encontrarlo en diferentes ambientes. Asimismo, se observó que cada sitio presentó su propia composición faunística.

De manera general, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre sitios ni entre fechas de colecta. Sin embargo, al analizar los grupos taxonómicos de manera particular, se identificaron diferencias significativas en algunos de ellos, lo que indica una respuesta particular de determinados grupos ante condiciones de los sitios y periodos evaluados.

Por otra parte, el Análisis de Correspondencia Canónica mostró una relación de la estructura y abundancia de la comunidad de la mesofauna y las variables ambientales, destacando la humedad y la temperatura como las variables con mayor relación con la distribución de los grupos.

Este estudio contribuye a ampliar el conocimiento sobre aspectos ecológicos de la mesofauna en el manglar, al proporcionar información sobre su composición y distribución de organismos que se encuentran asociados al suelo. Los resultados constituyen un precedente para realizar futuras investigaciones orientadas a la dinámica ecológica de estos ecosistemas en zonas costeras como las del estado de Quintana Roo.

10. REFERENCIAS

- Adame, M. F., & Lovelock, C. E. (2011). Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean. *Hydrobiologia*, 663(1), 23–50. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0554-7>
- Akram, H., Hussain, S., Mazumdar, P., Chua, K. O., Butt, T. E., & Harikrishna, J. A. (2023). Mangrove Health: A Review of Functions, Threats, and Challenges Associated with Mangrove Management Practices. *Forests*, 14(9), 1698. <https://doi.org/10.3390/f14091698>
- Alamilla, E. B., & May, D. A. (2013). *Relación entre la riqueza y abundancia de los ácaros oribátidos edáficos y el contenido de materia orgánica en suelos de Cozumel, Quintana Roo*. [Tesis, Universidad de Quintana Roo] <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1366>
- Alayola, A. D. C. (2016). *Riqueza y abundancia de microartrópodos edáficos como indicadores de suelo bien conservados en selvas tropicales de Puerto Morelos, Quintana Roo, México*. [Tesis, Universidad de Quintana Roo] <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1256>
- Alongi, D. M. (2008). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Álvarez, L. (2021). La mesaofauna del suelo como indicadora de salud del agroecosistema. En *Relaciones agroambientales en sistemas productivos rurales*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Colombia. <https://doi.org/10.22490/9789586518048.03>
- Anguas-Escalante, A., Pérez-Pech, W. A., Guidetti, R., Cutz-Pool, L. Q., & Ortiz-León, H. (2018). Tardígrados asociados a una plantación de cítricos de traspaso en la comunidad de El Palmar en Quintana Roo, México. *Investigación y Ciencia*, 26(73), 20–26.
- Badillo, M., Calderón, C., Garnica, A., Salazar, C., Arceo, D., Robles, J., Salinas, L., Mendoza, G., Teutli, C., Chiappa, X., & Gallardo, A. (2020). *Guía de los Servicios ecosistémicos del manglar*. 2.
- Balogh, J., & Balogh, P. (1988). The soil mites of the world. Oribatid Mites of the Neotropical Region I. *Akadémiai Kiadó*.
- Balogh, J., & Balogh, P. (1990). The soil mites of the world. Oribatid Mites of the Neotropical Region II. *Akadémiai Kiadó*.
- Bear, R., Rintoul, D., Snyder, B., Smith-Caldas, M., & Herren, C. (2016). Community Ecology. En *Principles of Biology*. Open Access Textbooks. <https://newprairiepress.org/textbooks/1/>
- Beretta, A., Bassahum, D., & Musselli, R. (2014). ¿Medir el pH del suelo en la mezcla suelo: agua en reposo o agitando? *Agrociencia* (Uruguay), 18(2), 90-94.
- Berlese, A. (1905). Apparecchio per raccogliere presto ed in gran numero piccoli artropodi. *Redia*, 2, 85–90.
- Brower, J., & Zar, J. (1984). *Field and Laboratory Methods of General Ecology*. Wm. C. Brown Company publishers.

- Brown, G. G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J. C., Bueno, J., Moreno, A. G., Lavelle, P., Ordaz, V., & Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* (N.S.), 79-110. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401847>
- Cabrera, G., Socarrás, A. A., Gutiérrez, E., Tcherva, T., Martínez-Muñoz, C. A., & Lozada Piña, A. (2017). Fauna del suelo. En *Diversidad Biológica de Cuba. Métodos de Inventario, Monitoreo y Colecciones Biológicas* (pp. 251-279). Instituto de Ecología y Sistemática. Editorial AMA. <https://www.undp.org/es/latin-america/publicaciones/diversidad-biologica-de-cuba-metodos-de-inventario-monitoreo-y-colecciones-biologicas>
- Cannicci, S., Burrows, D., Fratini, S., Smith, T. J., Offenberger, J., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 186-200. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.01.009>
- Castro-Huerta, R., von Bennewitz, E., & Garrido, E. (16 de noviembre de 2009). *Estructura de la mesofauna de artrópodos edáficos y su relación con características biológicas y químicas del suelo en agroecosistemas de la zona centro sur de Chile*. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, San José de Costa Rica
- Cauich, P. A. (2018). *Variación de la mesofauna edáfica (Acari y Collembola) en tres especies de manglar en el margen costero de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo* [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Chetumal]. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/698>
- Choong, M. F., Lucas, P. W., Ong, J. S. Y., Pereira, B., Tan, H. T. W., & Turner, I. M. (1992). Leaf fracture toughness and sclerophylly: Their correlations and ecological implications. *New Phytologist*, 121(4), 597-610. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01131.x>
- Cooch, K. Z., & Medina, D. M. (2018). *Diversidad y riqueza específica de micoaetrópodos edáficos como bioindicadores del estado de equilibrio del suelo en dos ecosistemas riparios en el país de Belice*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Quintana Roo] <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1811>
- Cruz, M. M., & Ojeda, M. (2023). ¡Desechos a mi provecho! El papel de los bichos del suelo. *Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente*, 1(1), 43-49.
- Cutz-Pool, L. Q., & Vázquez González, M. (2012). Colémbolos (Hexapoda: Collembola): pequeños artrópodos abundantes y diversos en Quintana Roo, México. *Dugesiana*, 19(2), Art. 2. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v19i2.4064>
- Cutz-Pool, L., Palacios-Vargas, J., & Castaño-Meneses, G. (2008). Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en musgos corticícolas en el gradiente altitudinal de un bosque subhúmedo de México. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 739-748.
- Dabert, J., & Mironov, S. (1999). Origin and Evolution of Feather Mites (Astigmata). *Experimental and Applied Acarology*, 23, 437-454. <https://doi.org/10.1023/A:1006180705101>
- Dervash, M., Bhat, R., Mushtaq, N., & Singh, V. (2018). Dynamics and Importance of Soil Mesofauna. En *Ecología del suelo de la selva tropical húmeda de México* (pp. 217-225). Instituto de Ecología, A. C., Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. Xalapa, México.

https://www.researchgate.net/publication/325119590_Dynamics_and_Importance_of_Soil_Mesofauna

- Díaz, J. M. (2011). Una Revisión Sobre Los Manglares: Características, Problemáticas Y Su Marco Jurídico. Importancia De Los Manglares, El Daño De Los Efectos Antropogénicos Y Su Marco Jurídico: Caso Sistema Lagunar De Topolobampo. *Ra Ximhai*, 7(3), 355-369. <https://doi.org/10.35197/rx.07.03.2011.05.jd>
- Fernández, K., Fernández, F., & Pérez, E. (2000). Nuevo método para el aislamiento y la cuantificación de insectos del orden Collembola. *Cultivos Tropicales*, 21(2), 5-10.
- Figueroa, D. (2021). *Composición de ácaros oribátidos acari: Cryptostigmata y colémbolos hexápoda: entognatha de la Reserva Estatal Sierra Monte Negro, Morelos, México* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/1683>
- Fragoso, C., Castillo, P. R., & Rojas, P. (2001). La importancia de la biota edáfica en México. *Acta Zoológica Mexicana* (N.S.), 1-10. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401842>
- Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., & Pereira, A. (2014). Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1:50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 31(1), 127-137.
- García, E. (1964). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. <http://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf>
- García-Gómez, A., Castaño-Meneses, G., & Palacios-Vargas, J. G. (2011). Distribución y diversidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en el gradiente altitudinal de un bosque templado en México. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 315-327.
- García-Gómez, A., Castaño-Meneses, G., Vázquez-González, M. M., & Palacios-Vargas, J. G. (2014). Mesofaunal arthropod diversity in shrub mangrove litter of Cozumel Island, Quintana Roo, México. *Applied Soil Ecology*, 83, 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.013>
- Gayosso-Soto, E., Cohuo, S., Sánchez-Sánchez, J. A., Villegas-Sánchez, C. A., Castro-Pérez, J. M., Cutz-Pool, L. Q., & Macario-González, L. (2024). Coastal Dune Vegetation Dynamism and Anthropogenic-Induced Transitions in the Mexican Caribbean during the Last Decade. *Plants*, 13(13), 1734. <https://doi.org/10.3390/plants13131734>
- Gavlak RG, Horneck DA, Miller RO, Kotuby-Amacher J. (2003). Soil pH and Electrical Conductivity. En: *Soil, Plant and Water Reference Methods for the Western Region*. (2nd ed. pp. 37-47). Colorado: Colorado State University.
- Gedoz, M., Freitas, E. M., Silva, V. L. da, & Johann, L. (2021). Edaphic Invertebrates as Indicators of Soil Integrity Quality. *Floresta e Ambiente*, 28(2). <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0069>
- Getzner, M., & Islam, M. S. (2020). Ecosystem Services of Mangrove Forests: Results of a Meta-Analysis of Economic Values. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph17165830>

- Ghannem, S., Bacha, O., Fkiri, S., Kanzari, S., Aydi, A., & Touaylia, S. (2024). Soil and Sediment Organisms as Bioindicators of Pollution. *Ecologies*, 5(4), 679–696. <https://doi.org/10.3390/ecologies5040040>
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology*, 26(10), 5844–5855. <https://doi.org/10.1111/gcb.15275>
- Gómez, A. (2020). Composición de los ácaros oribátidos asociados a un gradiente de vegetación en Xcalak, Quintana Roo. Instituto Tecnológico de Chetumal.
- Gómez-Anaya, J. A., Palacios-Vargas, J. G., & Castaño-Meneses, G. (2010). Abundancia de colémbolos (Hexapoda: Collembola) y parámetros edáficos de una selva baja caducifolia. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), 96–105.
- Gómez, P. A. (2024). Impactos negativos y positivos del cambio climático sobre los manglares: Las dos caras de una costosa moneda. *Madera y bosques*, 30(4). <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3042623>
- González- Salvatierra, C., Carrillo, A., & Cutz-Pool, L. (2024). Dunas costeras y Zona Intermareal. En *Elementos de Ecología de la Zona Marino Costera del Mar Caribe Mexicano* (pp. 81–110). Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chetumal. https://www.researchgate.net/publication/386506123_CAPITULO_3_DUNAS_COSTERAS_Y_ZONA_INTERMAREAL
- González-Valdivia, N., Ochoa-Gaona, S., Pozo, C., Gordon Ferguson, B., Rangel-Ruiz, L. J., Arriaga-Weiss, S. L., Ponce-Mendoza, A., & Kampichler, C. (2011). Indicadores ecológicos de hábitat y biodiversidad en un paisaje neotropical: Perspectiva multitaxonómica. *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1433–1451.
- Huertas, A. P., & Martinez, L. F. (2011). *Invertebrados asociados a ecosistemas tropicales alterados por incendios de cobertura vegetal*. [Tesis, Universidad Autónoma de Occidente]. <http://red.uaol.edu.co/handle/10614/1081>
- Iglesias, R., Palacios-Vargas, J. G., & Castaño-Meneses, G. (2019). Comparación de ácaros oribátidos de suelos agrícolas con tipos de riego contrastante en el estado de Hidalgo, México: Un estudio de caso. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2780>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/datosabiertos/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación*. Escala 1:250 000, Serie VII. Conjunto Nacional. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html?t=204&ag=00>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (1995). *Edafología*. Escalas 1:250000 y 1:1000000. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Iturrondobeitia, J. C., Arroyo, J., & Caballero, A. I. (2004). Avances en la utilización de los Ácaros Oribátidos como indicadores de las condiciones edáficas. *Munibe. Suplemento*, 21, 70–91.

- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Karimi, Z., Abdi, E., Deljouei, A., Cislighi, A., Shirvany, A., Schwarz, M., & Hales, T. C. (2022). Vegetation-induced soil stabilization in coastal area: An example from a natural mangrove forest. *CATENA*, 216, 106410. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106410>
- Karyanto, A., Rahmadi, C., Franklin, E. N., Susilo, F.-X., & Morais, J. W. de. (2012). Collembola, Acari y otra mesofauna del suelo: El método Berlese. En *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología. <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/34653>
- Kauffer, E. & Villanueva, C. (2011). Retos de la gestión de una cuenca construida: la Península de Yucatán en México. *Aqua-LAC*, 3(2), 81-91. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2011-v3-2>
- Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Bolton, N. W., Gomes, L. E. de O., & Nobrega, G. N. (2018). Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *Ecology and Evolution*, 8(11), 5530-5540. <https://doi.org/10.1002/ece3.4079>
- Kauffman, J. B., Hernandez Trejo, H., del Carmen Jesus Garcia, M., Heider, C., & Contreras, W. M. (2016). Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the Pantanos de Centla, Mexico. *Wetlands Ecology and Management*, 24(2), 203-216. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9453-z>
- Krantz, G. W. (1978). *A Manual of Acarology* (2 ed.). Oregon State University.
- Krantz, G. W., & Walter, D. E. (2009). *A Manual of Acarology*. Texas Tech University Press.
- Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: Cómo mantener vivas las tierras áridas. UICN, Gland, Suiza.
- Lara-Domínguez, A. L., Martínez, M., Sáinz, E., & Vásquez, V. (2022). *El suelo: Historias bajo las raíces de los manglares*. Instituto de Ecología. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1718-el-suelo-historias-bajo-las-raices-de-los-manglares>
- Lara-Lara, J. R., Arreola-Lizárraga, J. A., Calderón-Aguilera, L. E., Camacho-Ibar, V. F., de la Lanza-Espino, G., Escofet-Giansone, A., Espejel-Carbajal, M. I., Guzmán-Arroyo, M., Ladah, L. B., & López-Hernández, M. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En Soberón, J., Halffter, G. & Llorente-Bousquets, J. (Comps.), *Capital natural de México* (pp. 109-134). CONABIO, México. https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/janium_login_opac.pl?find&ficha_no=13310
- Lavelle, P., & Spain, A. (2001). Soil Ecology. <https://doi.org/10.1007/0-306-48162-6>
- Lima, R. & Colpo, K. (2014). Leaf-litter decomposition of the mangrove species *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* and *Rhizophora mangle*. *Journal of the Marine*

- Biological Association of the United Kingdom*, 94(2), 233-239.
<https://doi.org/10.1017/S0025315413001574>
- Ma, C., Yao, X., & Du, G. (2024). Effects of Soil Quality Decline on Soil-Dwelling Mesofaunal Communities in Agricultural Lands of the Mollisols Region, China. *Agriculture*, 14, 766.
<https://doi.org/10.3390/agriculture14050766>
- Maffia, A., Oliva, M., Marra, F., Mallamaci, C., Nardi, S., & Muscolo, A. (2025). Humic Substances: Bridging Ecology and Agriculture for a Greener Future. *Agronomy*, 15(2), 410.
<https://doi.org/10.3390/agronomy15020410>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford, 256 p.
<http://www.bio-nica.info/biblioteca/Magurran2004MeasuringBiological.pdf>
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press.
<https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Manzano, M. R., Vargas, H., & Cantera, J. (1989). Insectos asociados al suelo de un manglar tropical. *Revista Colombiana de Entomología*, 15(1).
<https://doi.org/10.25100/socolen.v15i1.10171>
- Mao, W., Geng, X., Huai, Z., Huang, W., Chen, G., Gonzalez, E. B., Strelnikov, I. I., & Ahmad, S. (2026). Synergistic effects of interconnectivity among coral reefs, seagrass beds, and mangroves under climate change. *The Innovation Geoscience*, 4(1).
<https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2026.100189>
- Mora C., G., Acuña S., C., & Céspedes V., G. (2020). *Guía para la gestión comunitaria del recurso hídrico II: manual para el manejo de manglares*.
<https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/18928?show=full>
- Moreno, A. (2015, junio 30). Orden Astigmata. *Revista IDE@-SEA*, 15, 1-19.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (Vol. 1).
https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad
- Olmsted, I. & Ercilla, M. J. (1988). *Historia natural de las palmas chit y nakax en Quintana Roo. Amigos de Sian Ka'an*.
<https://www.amigosdesiankaan.org/wp-content/uploads/2021/12/5d.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *5 razones por las que el suelo es clave para el futuro sostenible del planeta*.
<https://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/es/c/277124/>
- Orihuela, D. E., Tovilla Hernández, C., Vester, H. F. M., & Álvarez Legorreta, T. (2004). Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México. *Madera y Bosques*, 10, 45-61.
<https://doi.org/10.21829/myb.2004.1031266>
- Owuor, M., Santos, T. M. T., Otieno, P., Mazzuco, A. C. A., Iheaturu, C., & Bernardino, A. F. (2024). Flow of mangrove ecosystem services to coastal communities in the Brazilian Amazon. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1329006>

- Palacios-Vargas, J. (2000). Los colémbolos de los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas*, 5, 12–15.
- Palacios-Vargas, J. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(Supl. ene), 220-231. <https://doi.org/10.7550/rmb.32713>
- Palacios-Vargas, J., Mejía-Recamier, B. & De Oyarzábal, A. (2014). *Guía ilustrada para los Artrópodos Edáficos*. https://www.researchgate.net/publication/286450834_Guia_ilustrada_para_los_Artrópodos_Edáficos
- Palacios-Vargas, J., & Mejía-Recamier, B. (2007). *Técnicas de colecta, preservación y montaje de microartrópodos*. https://www.researchgate.net/publication/286450706_TECNICAS_DE_COLECTA_PRESERVACION_Y_MONTAJE_DE_MICROARTROPODOS
- Pech, W. A., & Cutz-Pool, L. (2013). *Diversidad de microartrópodos edáficos de una vegetación secundaria en el municipio de José María Morelos, Quintana Roo*, México (pp. 361-366). Memorias del XXI Congreso Nacional del Zoología. Universidad de Aguascalientes.
- Pérez, T., Guzmán-Cornejo, C., Montiel-Parra, G., Paredes-León, R., & Rivas, G. (2014). Biodiversidad de ácaros en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(Supl. ene), S399-S407. <https://doi.org/10.7550/rmb.36160>
- Prieto, D., Vázquez, M., & Rodríguez, C. (1999). Comunidades de la mesofauna edáfica en una selva baja inundable de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, 47(3), 489-492.
- Pronatura, GCF task force, & Universidad de Guadalajara. (2024). *Quintana Roo. Importancia de bosques y selvas*. <https://pronatura-sur.org/wp-content/uploads/2024/10/Deforestacion-Quintana-Roo.pdf>
- Ramos, E. L. (1975). Geological Summary of the Yucatan Peninsula. En The Gulf of Mexico and the Caribbean. En Nairn A. & Stehli, F. (eds) The Gulf of Mexico and the Caribbean (pp. 257-282). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8535-6_7
- Revelo-Tobar, H., García-Ayala, L., Ojeda, M., & Palacios-Vargas, J. (2024). Checklist of Oribatid Mites (Acari: Oribatida) from Mexico. *Zootaxa*, 5465, 1–178. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5465.1.1>
- Rodríguez-Zúñiga, M., Troche, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J., Vazquez, B., Valderrama, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Donald, L., & Galindo Leal, C. (2013). *Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo*. https://www.researchgate.net/publication/272293455_Manglares_de_Mexico_Extension_distribucion_y_monitoreo
- Roswell, M., Dushoff, J., & Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos*, 130(3), 321–338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>

- Rubio-Hurtado, M.-J., & Berlanga-Silvente, V. (2012). Com aplicar les proves paramètriques bivariades t de Student i ANOVA en SPSS. Cas pràctic. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5(2), 83-100. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>
- Samalot-Roque, B. (2006). Diversidad de Collembola (Hexapoda) asociados a Rhizophora mangle en manglares de Puerto Rico [Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico]. <https://www.proquest.com/openview/ee7f8c92f8d447faab64dc9d274e2e2f/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Sánchez, L. M., Fraga, I., Macebo, B., & Miranda, R. L. (2008). Toxicidad aguda y subaguda oral del extracto acuoso liofilizado de *Rhizophora mangle* L. en ratas. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 13(3).
- Sandler, R., Falco, L., Di Ciocco, C., Luca, R., & Coviella, C. (2010). Eficiencia del embudo Berlese-Tullgren para extracción de artrópodos edáficos en suelos argiúdoles típicos de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del suelo*, 28, 1-7.
- Secretaría de Desarrollo Territorial Urbano Sustentable. (2021). *Programa de Desarrollo Urbano del centro de población Mahahual 2021-2050*. <https://oportunidadesquintanaroo.com/wp-content/uploads/2021/07/PDUCP-Mahahual-Perio%CC%81dico-Oficial-del-Estado-7-Jul-2021.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Informe de la situación del medio ambiente en México 2018*. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- Socarrás, A. (2013). Mesofauna edáfica: Indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*, 36(1) 5-13.
- Socarrás, A., & Izquierdo, I. (2014). Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: Mesofauna edáfica. *Pastos y Forrajes*, 37(1), Article 1.
- Socarrás, A., & Izquierdo, I. (2016). Variación de los componentes de la mesofauna edáfica en una finca con manejo agroecológico. *Pastos y Forrajes*, 39(1), 41-48.
- Socarrás, A., & Robaina, N. (2011). Caracterización de la mesofauna edáfica bajo diferentes usos de la tierra en suelo Ferralítico Rojo de Mayabeque y Artemisa. *Pastos y Forrajes*, 34(2), 185-197.
- ter Braak, C. J. F. (1986). Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology*, 67(5), 1167–1179. <https://doi.org/10.2307/1938672>
- Tome, S. A., Cutz-Pool, L. Q., & Ortíz León, H. J. (2015). Variación espacio-temporal de ácaros (Cryptostigmata) en pun-tos estratégicos de la bahía de Chetumal Quintana Roo, México. *Cuerpo Editorial*, 58.
- Tovilla-Hernández, C., & Romero-Berny, E. I. (2015). Producción de hojarasca en manglares ribereños de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada. En Velázquez-Velázquez, E., Romero-Berny, E. & Rivera-Velázquez, G. (Eds.) *Reserva de la Biósfera La Encrucijada: Dos décadas de investigación para la conservación* (pp. 127-138).

- Tullgren, A. (1918). Ein sehr einfacher Ausleseapparat für terricole Tierformen. *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, 4(1), 149–150. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1918.tb00820.x>
- Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove forests: One of the world's threatened major tropical environments. *BioScience*, 51(10), 807–815. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0807:MFOOTW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0807:MFOOTW]2.0.CO;2)
- Vázquez, M. (2008). Microartrópodos edáficos litorales. *Dugesiana*, 15(1), 7-15. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v15i1.3845>
- Vázquez, M., May Uicab, D. A., & Alamilla Pastrana, E. B. (2016). Riqueza específica y biodiversidad de Cozumel, Quintana Roo, México. *Teoría y Praxis*, 19, 137-171. <https://doi.org/10.22403/UQROOMX/TYP19/07>
- Vazquez, M. M., & Palacios-Vargas, J. (2004). Catálogo de colémbolos (Hexapoda: Collembola) de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. <https://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/3349>
- Velázquez, E., Pérez, M. Á., & Chávez, A. (2008). El análisis de la comunidad: Parámetros y evaluaciones de la diversidad biológica. *Lacandonia*, 2(1), 131-139.
- Villagómez, F., Iglesias, R., & Palacios-Vargas, J. G. (2017). Los ácaros oribátidos (Acari: Oribatei) de los estratos edáficos y arbóreos de la selva alta perennifolia de los Tuxtlas, Veracruz. *Entomología mexicana*, 4, 28-34.
- Wall, D. H., Bardgett, R. D., & Kelly, E. (2010). Biodiversity in the dark. *Nature Geoscience*, 3(5), 297-298. <https://doi.org/10.1038/ngeo860>
- Warburg, M. R. (1968). Behavioral adaptations of terrestrial isopods. *American Zoologist*, 8(3), 545-559. <https://doi.org/10.1093/icb/8.3.545>
- Wei, S., Zhang, H., & Ling, J. (2025). A review of mangrove degradation assessment using remote sensing: Advances, challenges, and opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, 62(1), 2491920. <https://doi.org/10.1080/15481603.2025.2491920>
- Zaldívar, A., Herrera, J., Coronado, C., & Alonzo, D. (2004). Estructura y productividad de los manglares en la reserva de la biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 10, 25-35.
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Prentice-Hall/Pearson.
- Zhao X, Rivera-Monroy VH, Li C, Vargas-Lopez IA, Rohli RV, Xue ZG, Castañeda-Moya E & Coronado-Molina C (2022). Temperature Across Vegetation Canopy-Water-Soil Interfaces Is Modulated by Hydroperiod and Extreme Weather in Coastal Wetlands. *Front. Mar. Sci.* 9, 1-21 <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.852901>
- Zheng, X., Tao, Y., Wang, Z., Kou, X., Wang, H., Wang, S., & Wu, D. (2022). Land-Use Types Influence the Community Composition of Soil Mesofauna in the Coastal Zones of Bohai Bay, China. *Diversity*, 14, 1035. <https://doi.org/10.3390/d14121035>

ANEXOS

Fotografías de los órdenes de mayor abundancia registrados en el manglar de Mahahual, Quintana Roo.



Orden: Oribatida



Orden: Astigmata



Orden: Mesostigmata



Orden: Prostigmata