

**Tecnológico Nacional de México.
Campus Chetumal.**

**“Estructura y variación espacio-temporal de la
comunidad de ácaros Oribátidos (Cryptostigmata)
edáficos en un gradiente de vegetación en Calakmul,
Campeche”**

Tesis para obtener el título de
Maestra en Ciencias en Ecosistemas Tropicales

Presenta:

Lic. Nancy Esther Hernández Magaña

Director: Dr. Leopoldo Q. Cutz Pool

Co-Directora: Ma. Magdalena Vázquez González

Revisores:

Dr. José Manuel Castro Pérez

Dr. Héctor León Ortiz



Chetumal, Quintana Roo, 28 de agosto de 2026

Asunto: liberación de tesis

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

Por este medio tenemos a bien comunicarle que la tesis de la alumna Nancy Esther Hernández Magaña titulada **“Estructura y variación espacio-temporal de la comunidad de ácaros Oribátidos (Cryptostigmata) edáficos en un gradiente de vegetación en Calakmul, Campeche”** (No. de control M24390830), ha sido revisada y aprobada, por lo que puede continuar con los trámites para la obtención del grado de Maestra en Ciencias en Ecosistemas Tropicales.

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. Ma. Magdalena Vázquez González
Co-directora

Dr. José Manuel Castro Pérez
Revisor de tesis

M en C. Héctor Javier Ortiz León
Revisor





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Chetumal
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Chetumal, Quintana Roo, **9/septiembre/2026**
No. de oficio: W-298/2026

ASUNTO: Autorización de impresión

LIC. NANCY ESTHER HERNÁNDEZ MAGAÑA
ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECOSISTEMAS TROPICALES
PRESENTE

Habiendo cumplido con los requisitos para obtención del grado de **MAESTRA EN CIENCIAS EN ECOSISTEMAS TROPICALES**, 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:

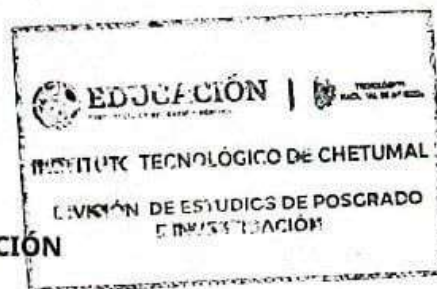
SE LE CONCEDE LA AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE LA TESIS

“Estructura y variación espacio-temporal de la comunidad de ácaros Oribátidos (Cryptostigmata) edáficos en un gradiente de vegetación en Calakmul, Campeche”

ATENTAMENTE
Excelexia 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

cyp. Archivo
ACB/Gaby



2026
año de
**Margarita
Maza**



Av. Insurgentes #330, esq. Andrés Quintana Roo, Col. David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 67 C.P. 77013,
Chetumal, Quintana Roo. Tel. (983) 8322330 ext. 101. www.chetumal.tecnm.mx

Dedicatoria

A mis padres, Guadalupe Hernández Torres y Aida Esther Magaña Medina, por ser el origen de cada uno de mis logros. Gracias por el inmenso esfuerzo que han hecho a lo largo de sus vidas para que mis hermanos y yo tuviéramos oportunidades que ustedes muchas veces no tuvieron. Todo lo que hoy soy, y todo lo que he logrado lleva su nombre. Esta tesis también les pertenece.

A mi abuelita Raquel. Gracias por quererme con esa ternura que solo tú sabes dar, por tus abrazos, tus palabras y por hacerme sentir siempre en casa.

A mis hermanos, Claudia y Edgar por estar siempre ahí, por acompañarme en los buenos y malos momentos, por las risas, las discusiones y el cariño que solo existe entre hermanos. Gracias por caminar conmigo.

A Madaí, mi sobrina, la luz de mi vida. Gracias por recordarme con tu sonrisa por qué siempre vale la pena seguir adelante. Siempre intentaré ser alguien de quien puedas sentirte orgullosa.

A quien fue refugio en medio de este proceso y que, de alguna manera, habita estas páginas. Porque mucho de este trabajo también tiene de ti. Gracias por compartir conmigo tus ideas, por cuestionarme, por ayudarme a ver más allá y por hacer que esta tesis fuera mejor de lo que habría sido sin ti. Gracias por creer en mí incluso cuando yo no encontraba fuerzas para hacerlo, por celebrar mis avances y sostenerme en mis días más difíciles, así como en los más felices.

Y, finalmente, a mí.

Por no rendirme. Por seguir adelante aun cuando el camino se llenó de dudas, de cansancio y de días en los que pensé que sería muy complicado. Por aprender a continuar con compañía y también en soledad. Por sostener este sueño durante dos años y demostrarme que fui capaz de llegar hasta aquí. Porque, a pesar de las frustraciones y de los tropiezos, también disfruté cada aprendizaje y cada momento que me recordó por qué amo lo que hago.

Agradecimientos

La presente investigación es el resultado del esfuerzo conjunto de muchas personas e instituciones que, con su guía, apoyo y confianza, hicieron posible la culminación de este trabajo. A todas ellas expreso mi más profundo agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a la Dra. Magdalena Vázquez, por haberme abierto las puertas del Laboratorio de Microartrópodos Edáficos hace cinco años y por haber confiado nuevamente en mí para desarrollar este proyecto de maestría como mi codirectora. Gracias por su paciencia, enseñanzas y por brindarme la oportunidad de crecer académica y profesionalmente desde mi formación de licenciatura hasta este momento.

Al Dr. Leopoldo Cutz Pool, al Dr. José Manuel Castro Pérez y al Dr. Héctor León Ortiz, integrantes de mi comité de tesis, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, así como por sus observaciones y comentarios, los cuales contribuyeron a fortalecer esta investigación.

Al personal de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, campus Chetumal, por el apoyo brindado durante los trámites académicos, la gestión de convocatorias y la orientación proporcionada a lo largo de la maestría.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca otorgada (CVU 2062680), la cual hizo posible el desarrollo de esta investigación y la conclusión de mis estudios de maestría.

A Eduardo Dzul, técnico productivo del programa *Sembrando Vida*, por su apoyo durante el trabajo de campo y por facilitar el contacto con los propietarios que nos permitieron realizar el muestreo en sus terrenos.

A la Sra. Elda del Carmen Cervera Euán, por permitir el acceso a su propiedad y brindar todas las facilidades para el desarrollo del trabajo de campo.

A Angel, Nanlui, Dulce, Faby, y Jhonatan, por acompañarme durante esta etapa, por su amistad, sus palabras de ánimo y por estar presentes en los momentos más importantes de este proceso.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, aunque no se mencionan de manera individual, formaron parte de esta investigación. Gracias a quienes participaron en las salidas de campo, colaboraron durante el procesamiento e identificación de las muestras o brindaron su apoyo de distintas maneras. Su ayuda fue invaluable para la realización de este trabajo.

Índice

Resumen	9
Introducción	10
Antecedentes	12
Justificación.....	15
Hipótesis	16
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos	17
Materiales y métodos	18
Área de estudio	18
Descripción del área del estudio.....	18
Clima	18
Vegetación	19
Selvas medianas subperennifolias y subcaducifolias.....	19
Acahual	20
Sistema agroforestal.....	21
Trabajo de campo	22
Colecta	22
Trabajo de laboratorio	23
Extracción de organismos.....	23
Preparación: aclaración y montaje de los organismos	24
Temperatura, humedad y pH	25
Análisis estadísticos	27
Abundancia relativa (%).....	27
Riqueza específica (S)	27
Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')	27
Índice de equitatividad de Pielou (J')	28
Índice de dominancia de Simpson (λ).....	28
Índices de similitud/disimilitud	29
Análisis de similitud (ANOSIM)	29
Análisis BIOENV.....	29
Análisis de Correspondencia Canónica (CCA).	30

Resultados	31
Evaluación del esfuerzo de muestreo	31
Composición y abundancia general de la comunidad	32
Estructura de la comunidad de ácaros oribátidos	33
Índices de diversidad	33
Diferencias en la composición de la comunidad entre tipos de vegetación	34
Índice de similitud Bray-Curtis	34
Análisis de similitud (ANOSIM)	35
Contribución de las familias a la similitud y disimilitud de la comunidad.....	37
Análisis de ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico (MDS).....	39
Variación temporal de la comunidad.....	40
Abundancia y variación por tipo de vegetación.....	40
Variación estacional de los índices de diversidad	41
Diferencias en la composición de la comunidad.....	43
Influencia de las variables ambientales sobre la estructura de la comunidad.....	45
BEST-BIOENV.....	45
Análisis de correspondencia canónica (CCA)	46
Discusión	48
Conclusión	53
Referencias	55
Anexos. Fotografías para la identificación de ácaros oribátidos.....	62
Microscopio electrónico de barrido.....	62
Microscopio óptico Axio Scope (ZEISS).....	64

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio, Xpujil, municipio de Calakmul, Campeche, México.....	18
Figura 2. Selva mediana subperennifolia, Calakmul, Campeche, México.....	19
Figura 3. Acahual, comunidad sucesional Calakmul, Campeche, Mexico.	20
Figura 4. Sistema Agroforestal del programa Sembrando Vida. Calakmul, Campeche, México.	21
Figura 5. AB. A. Guía de delimitación de superficie, B. Bolsa de manta con muestra de suelo debidamente etiquetada.....	22

Figura 6. Método del embudo de Berlesse-Tullgren utilizado para procesar las muestras colectadas.....	23
Figura 7. A. Ejemplares en viales, B. Material utilizado para la preparación de los organismos.....	24
Figura 8. A. Montajes permanentes de ácaros oribátidos en portaobjetos, B. Aclarado de lactofenol.....	25
Figura 9. AB. A. Termómetro para medir temperatura, B. Estufa de laboratorio.....	26
Figura 10. Curva de acumulación de familias de ácaros oribátidos obtenida mediante 999 permutaciones aleatorias.....	31
Figura 11. Abundancia acumulada de ácaros oribátidos en tres tipos de vegetación (selva mediana, acahual y sistema agroforestal) durante el periodo de estudio en Calakmul, Campeche.....	32
Figura 12. Abundancia absoluta de las diez familias más representativas de ácaros oribátidos registradas en los tres tipos de vegetación en Calakmul, Campeche.....	33
Figura 13. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis obtenido mediante el método Group Average, utilizando la abundancia promedio de las seis réplicas por tipo de vegetación y muestreo. Las líneas rojas indican los grupos significativos identificados mediante SIMPROF.....	35
Figura 14. Grafica del análisis de similitud (ANOSIM) para la comparación de la comunidad de ácaros oribátidos entre tipos de vegetación.....	36
Figura 15. Contribución de las principales familias de ácaros oribátidos a la similitud entre los tipos de vegetación según el análisis SIMPER.....	38
Figura 16. Contribución de las principales familias de ácaros oribátidos a la disimilitud entre los tipos de vegetación según el análisis SIMPER.....	39
Figura 17. Ordenación MDS de la comunidad de ácaros oribátidos basada en la similitud de Bray-Curtis entre muestras del sistema agroforestal, acahual y selva mediana en Calakmul, Campeche.....	40
Figura 18. Variación de la abundancia de ácaros oribátidos por tipo de vegetación en cuatro colectas realizadas durante el periodo de estudio en Calakmul, Campeche.....	41
Figura 19. Variación de los índices de diversidad de la comunidad de ácaros oribátidos en los diferentes tipos de vegetación (selva mediana, acahual y sistema agroforestal) durante las temporadas de secas y lluvias. A) Índice de Shannon (H'), B) equitatividad de P_i (J'), y C) índice de Simpson ($1-\lambda$). Los valores corresponden a la media $\pm$ desviación estándar.....	42
Figura 20. Histogramas de permutación del análisis ANOSIM para los factores tipo de vegetación (a) y temporada (b). La línea vertical indica el valor observado de R	44
Figura 21. Grafica de análisis BIOENV que relaciona la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos con las variables ambientales del suelo.....	46

Figura 22. Análisis de correspondencia canónica (CCA). familias de ácaros oribátidos (puntos azules), las muestras (puntos negros) y las variables ambientales (flechas: pH, humedad, conductividad y temperatura) 47

Índice de Tablas

Tabla 1. Índices de diversidad general de la comunidad: diversidad de Shannon(H'), diversidad de Simpson ($1-\lambda$) y equitatividad de Pielou (J') en tres tipos de vegetación en Calakmul, Campeche.....	34
Tabla 2. Resultados del análisis de similitud (ANOSIM) para la comparación de la comunidad de ácaros oribátidos entre tipos de vegetación.	36
Tabla 3. Análisis de similitud (ANOSIM) de dos vías para evaluar diferencias en la composición de la comunidad de ácaros Oribátidos entre tipos de vegetación y temporadas.....	43
Tabla 4. Análisis BIOENV que relaciona la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos con las variables ambientales del suelo.....	45
Tabla 5. Valores propios (eigenvalues) y porcentaje de variación explicada por los ejes del análisis de correspondencia canónica (CCA).....	47

Resumen

Los ácaros oribátidos son un componente importante de la fauna edáfica debido a su participación en la descomposición de la materia orgánica y su sensibilidad a los cambios ambientales. El objetivo de este estudio fue determinar la estructura comunitaria y la variación espacio-temporal de los ácaros oribátidos en un gradiente de vegetación en Xpujil, Calakmul, Campeche y evaluar su relación con variables ambientales del suelo.

Se realizaron cuatro muestreos en una selva mediana subperennifolia, un acahual y un sistema agroforestal, de los cuales se obtuvieron 72 muestras de hojarasca. En total se registraron 12,641 individuos pertenecientes a 40 familias. La selva mediana presentó la mayor abundancia y diversidad, mientras que el sistema agroforestal registró los valores más bajos. La mayor abundancia de organismos se observó durante la temporada de lluvias. Los análisis multivariados evidenciaron diferencias en la composición de la comunidad entre los tipos de vegetación e identificaron a la humedad del suelo como la variable ambiental con mayor influencia sobre la estructura de la comunidad.

Los resultados indican que el tipo de vegetación, la estacionalidad y las condiciones ambientales influyen en la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos, lo que resalta la importancia de conservar la cobertura vegetal para el mantenimiento de la biodiversidad edáfica en los ecosistemas tropicales.

Palabras clave: Acari, bioindicadores, Calakmul, gradiente, selvas tropicales.

Introducción

Los ácaros Cryptostigmata, también conocidos como ácaros oribátidos, son los organismos numéricamente dominantes en las comunidades edáficas de las selvas tropicales (Villagómez et al., 2019). Este grupo de microartrópodos destaca por su abundancia en los ecosistemas edáficos que conforman el sistema de hojarasca del suelo (Bardgett, 2005; Ruíz, 2018). Su función en la red trófica es importante ya que participan en la regulación de descomponedores primarios, como bacterias y hongos, y secundarios, como nemátodos y protozoos. Además, contribuyen a procesos esenciales como la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (Crossley, 1977; Kardol et al., 2011).

Estos organismos varían en tamaño desde 200 a 1300 μm (Roy et al., 2017; Vázquez, 1999), lo que les permite ocupar diferentes microhábitats en un gradiente de vegetación, desde suelos húmedos hasta ambientes más secos (Scheu, 2000; Stanton, 1979). Debido a que los oribátidos son sensibles a los cambios ambientales, se consideran bioindicadores de la salud del suelo, ya que los cambios en su abundancia y composición pueden reflejar cambios causados por actividades humanas, pérdida de cobertura vegetal y contaminación (Chen et al., 2024; Iglesias et al., 2019).

En las selvas tropicales, también responden significativamente a cambios estacionales (Cutz-Pool y Cruz, 2013; Villagómez et al., 2019). Durante las estaciones húmedas tienden a aumentar en abundancia y diversidad, ya que las condiciones favorecen su actividad y reproducción (Vázquez et al., 2023). Esta variación temporal nos permite comprender mejor cómo las comunidades edáficas responden a los cambios ambientales y de uso del suelo (Hernández-Tirado et al., 2022).

Ubicada en la región fronteriza de la Península de Yucatán, Calakmul, es una de las áreas forestales más extensas e importantes del trópico mexicano (Ibarra-Manríquez et al., 2002). La vegetación tiene una alta heterogeneidad espacial, lo que contribuye a una alta biodiversidad y la presencia de diferentes tipos de ecosistemas. Factores como los gradientes de precipitación, el tipo de suelo, las

perturbaciones naturales y la intervención humana afectan directamente la composición de la vegetación y las condiciones ambientales de cada sitio (Martínez y Galindo-Leal, 2002). Estas diferencias pueden generar cambios significativos en la estructura y abundancia de las comunidades de ácaros oribátidos.

En las zonas colindantes con Calakmul existen áreas de amortiguamiento donde se realizan actividades productivas bajo distintos esquemas de manejo. Algunas áreas de selva mediana mantienen una vegetación más estable gracias a programas de conservación y manejo regulado, como pagos por servicios ambientales, los cuales buscan mantener la cobertura forestal y favorecer la conservación de los ecosistemas. Por otro lado, en la región también se desarrollan sistemas agroforestales impulsados por el programa federal Sembrando Vida, que combinan especies forestales, frutales y cultivos básicos con el objetivo de promover la producción y la regeneración ambiental. En contraste, los acahuales son áreas en proceso de regeneración secundaria luego de perturbaciones previas, creando condiciones intermedias para la cobertura vegetal y la acumulación de materia orgánica.

Todavía hay poca información sobre cómo afectan la calidad del suelo y la biodiversidad, especialmente en grupos como los ácaros oribátidos. Considerando la importancia de estos organismos en los ciclos de nutrientes, es importante realizar investigaciones que permitan comprender su función en el mantenimiento de los ecosistemas y la respuesta a cambios ambientales y de uso del suelo (Sánchez et al., 2021).

Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo analizar la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos a lo largo de un gradiente de vegetación en Xpujil, municipio de Calakmul, Campeche. A través de esta investigación se busca contribuir al conocimiento de la dinámica de estas comunidades y su relación con las variaciones ambientales y la intervención humana. Comprender estos patrones puede aportar información útil para fortalecer estrategias de conservación, restauración y manejo sostenible en ecosistemas tropicales.

Antecedentes

Los ácaros oribátidos se consideran uno de los grupos de artrópodos más importantes en los hábitats terrestres. Su importancia radica no sólo en su diversidad, sino también en su utilidad como bioindicadores (Cabrera-Dávila, 2014; Socarrás, 2013) para evaluar el impacto ambiental sobre diferentes tipos de ecosistemas, independientemente de si está relacionado con la actividad humana, incluidas áreas agrícolas y ecosistemas forestales (Behan-Pelletier, 1999; Pérez et al., 2014).

La estructura de la comunidad de este grupo está influenciada por diversos factores ambientales, entre los que destacan el tipo de vegetación y las características edáficas del suelo. Los sitios con gradiente de vegetación, como áreas pequeñas en un ecosistema con condiciones ambientales homogéneas, pueden variar mucho en aspectos como la humedad, la temperatura, la cobertura vegetal y la calidad del suelo (Che-Uc et al., 2019). Esta variación espacial y temporal afecta directamente a las especies de ácaros oribátidos presentes en cada sitio (Cutz-Pool y Cruz, 2013; Villagómez et al., 2019).

Trabajos referentes a la biodiversidad de los ácaros oribátidos en diferentes ecosistemas tropicales han destacado la influencia de factores tanto bióticos como abióticos en la composición y estructura de estas comunidades. Estudios de Franklin-Santos y Albuquerque (2006) y Chen et al. (2024) registran información acerca de cómo la diversidad de hábitats, microhábitats y las condiciones estacionales afectan la distribución y abundancia de estos organismos en suelos tropicales. El trabajo de Franklin-Santos y Albuquerque (2006) realizado en la selva baja de Perú y varias regiones brasileñas (Amazonas, Rondônia, Roraima y Pará), se exploró la relación entre la diversidad de hábitats y las comunidades de oribátidos en distintos tipos de suelos. En total, identificaron 204 especies, con una notable concentración en los bosques primarios. En la selva baja de Perú y en la Amazonia, se registraron hasta 132 especies por sitio y una densidad promedio de 5,040 individuos por metro cuadrado. Por el contrario, las áreas perturbadas como pastizales y áreas agrícolas mostraron una fuerte disminución en la diversidad con

apenas 39 a 45 especies por sitio y densidades que oscilaron entre 1,700 y 2,130 individuos por metro cuadrado. Este patrón recalca el impacto negativo de las actividades humanas sobre la biodiversidad de oribátidos, resaltando la importancia de las selvas primarias para su conservación.

Por otro lado, un estudio de Chen et al. (2024) analizaron cómo la diversidad de árboles y los factores estacionales afectan a las comunidades de oribátidos en los bosques subtropicales chinos. En los sitios de estudio se registraron entre 65 y 98 especies; los bosques con mayor diversidad presentaron una riqueza máxima de 98 especies por sitio y una densidad promedio de 4,650 individuos por metro cuadrado. Un hallazgo notable fue que las comunidades eran más diversas y abundantes en primavera que en otoño. Durante esta estación se alcanzaron 5,000 individuos, mientras que en otoño la densidad promedio fue significativamente menor, con 3,200 individuos por metro cuadrado.

Estudios realizados en ecosistemas tropicales y áreas agrícolas de México también han documentado una variabilidad notable en la estructura de las comunidades relacionada con el uso del suelo y el tipo de vegetación. Villagómez et al. (2019) estudiaron el impacto de la identidad arbórea, la variación temporal y los parámetros edáficos sobre las comunidades de oribátidos en un bosque tropical perennifolio en Los Tuxtlas, Veracruz. Encontraron que la diversidad era mayor en sitios dominados por *Stereospermum texanum* y *Cedrela odorata* (hasta 112 especies, con 4,500 individuos por metro cuadrado) en comparación con aquellos dominados por *Tabebuia rosea* y *Guarea* sp. (87 especies, 3,200 individuos por metro cuadrado). Además, la temporada de lluvias favoreció una mayor abundancia (4,700 individuos por metro cuadrado) en comparación con la época seca (3,100 individuos por metro cuadrado), destacando la influencia de la humedad del suelo y el contenido de materia orgánica.

En el Estado de Quintana Roo, Vázquez et al. (2024), en un estudio realizado en el ejido Petcacab, encontraron que los ácaros oribátidos mostraron mayor abundancia y diversidad en selvas bien conservadas comparadas con un acahual y un área perturbada por manejo agrícola. De manera similar, Che-Uc et al. (2019) registraron

que la comunidad de oribátidos era significativamente más rica en una selva secundaria que en un cultivo de maíz, reportando 40 especies para la selva secundaria frente a 25 para el cultivo.

Finalmente, Tome-Reyna et al. (2015), al investigar la variación espacio-temporal de los ácaros Cryptostigmata en la bahía de Chetumal, registraron un total de 28 especies a lo largo del año con mayor abundancia durante la temporada lluviosa; se identificaron 964 individuos agrupados en 13 familias y 26 géneros. Las condiciones ambientales como humedad y temperatura resultaron determinantes para la diversidad y abundancia observadas. Asimismo, Cutz-Pool y Cruz (2013) evaluaron la comunidad de ácaros oribátidos asociada a *Tillandsia festucoides* en Nicolás Bravo, Quintana Roo, donde identificaron 15 especies cuya composición estuvo influenciada por las condiciones de humedad y temperatura propias del hábitat epífita. Además, registraron 28 familias de microartrópodos corticícolas, de las cuales Galumnidae (52.36%), Isotomidae (10.45%) y Scheloribatidae (9.68%) fueron las más abundantes, concentrando en conjunto el 72 % de los individuos registrados.

Justificación

Calakmul, Campeche, es una región de gran valor ecológico y cultural, reconocida por su elevada biodiversidad y variedad de usos del suelo (Martínez y Galindo-Leal, 2002). Los ácaros oribátidos, como parte esencial de la fauna edáfica, representan un componente clave para evaluar la salud y funcionalidad del ecosistema, debido a su sensibilidad a los cambios ambientales (Behan-Pelletier, 1999; Iglesias et al., 2019; Hernández-Tirado et al., 2022).

Este estudio se desarrolla en un gradiente de vegetación que incluye una selva mediana subperennifolia conservada, un acahual en recuperación y un área agrícola del programa federal Sembrando Vida, la selva mediana es un sitio protegido bajo un esquema de pagos por servicios ambientales (PSA) promovido por SEMARNAT, donde está restringida la tala y la caza, lo que permite evaluar condiciones de mínima perturbación (Martínez y Galindo-Leal, 2002). Por el contrario, el área de cultivo forma parte de un sistema agroforestal con manejo activo, que, si bien busca conservar suelos y restaurar vegetación secundaria, puede afectar a la fauna edáfica.

La comparación entre estos sitios permite no solo comprender cómo varía la estructura de las comunidades de ácaros oribátidos en función del tipo de vegetación y sus condiciones edáficas, sino también evaluar el impacto ecológico de prácticas humanas reguladas y no reguladas, lo que es especialmente relevante en contextos de conservación y desarrollo sostenible (Villagómez et al., 2019; Che-Uc et al., 2019).

Así, el presente estudio busca generar información útil tanto para el seguimiento ecológico de los programas gubernamentales de restauración y conservación, como para la toma de decisiones sobre el manejo de suelos y biodiversidad en zonas tropicales (Sánchez et al., 2021). Además, puede ofrecer herramientas para vincular el conocimiento científico con actores locales e instituciones, facilitando estrategias integrales que conjuguen productividad, conservación y bienestar social.

Hipótesis

La abundancia y diversidad de ácaros oribátidos será significativamente mayor en sitios que presenten y cobertura vegetal densa, como la selva mediana sujeta a esquemas de conservación forestal, debido a la mayor retención de humedad, acumulación de hojarasca generan microhábitats asociados a gradientes de vegetación más complejos. En contraste, el sistema agroforestal asociado a Sembrando Vida presentará comunidades menos diversas por la modificación de las condiciones del suelo, mientras que el acahual mostrará valores intermedios relacionados con procesos de regeneración secundaria.

Objetivo general

Determinar la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos (Acari: Cryptostigmata) en un gradiente de vegetación y relacionarlos con las variaciones temporales y los parámetros edáficos.

Objetivos específicos

1. Evaluar la composición taxonómica de los ácaros oribátidos en un gradiente de vegetación: un sistema agroforestal, un acahual y una selva mediana conservada.
2. Evaluar la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos utilizando índices ecológicos.
3. Estimar la influencia de las características físico-químicas (conductividad eléctrica, temperatura, humedad y ph) y el tipo de vegetación en la estructura comunitaria.
4. Determinar cambios en la comunidad de los ácaros oribátidos con relación a la estacionalidad climática.
5. Relacionar las variaciones temporales y los parámetros edáficos con la comunidad de ácaros oribátidos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo, se realizó en la región de Xpujil en el municipio de Calakmul, en el sureste del Estado de Campeche (Fig. 1). Esta área mantiene la selva tropical más extensa de México y forma parte de un sistema forestal que abarca regiones del sureste, como Chiapas y Quintana Roo (Galindo-Leal, 1999).

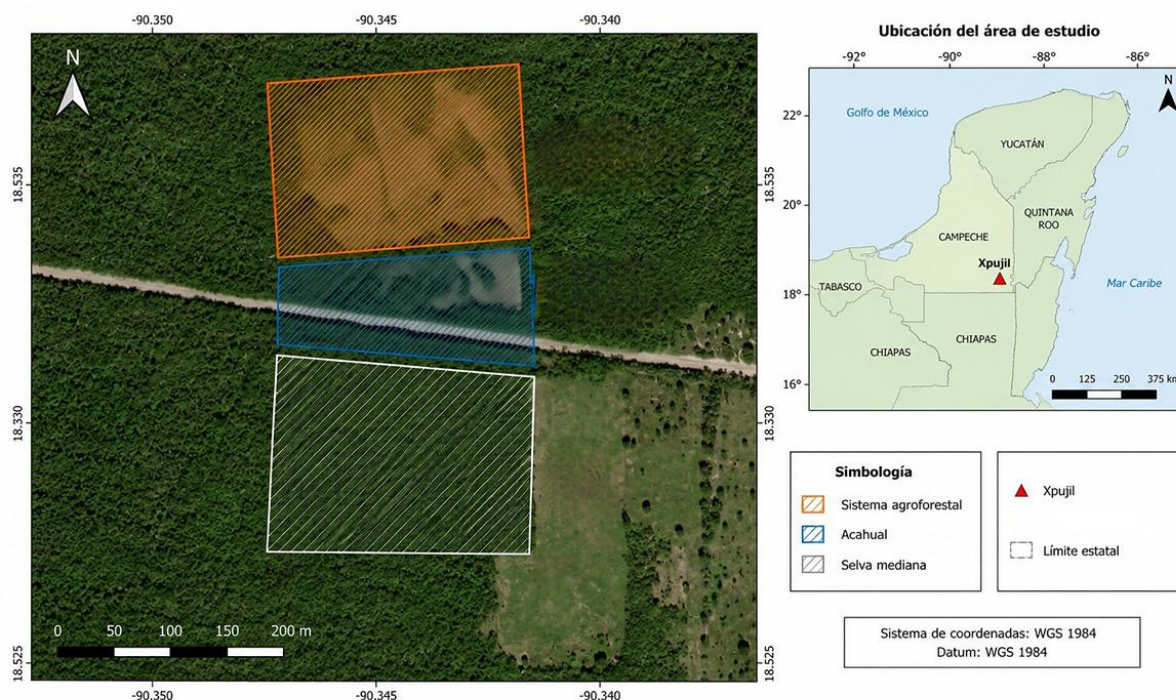


Figura 1. Área de estudio, Xpujil, municipio de Calakmul, Campeche, México.

Descripción del área del estudio

Clima

El clima de Calakmul, de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen modificado por García (2004), es cálido subhúmedo (Aw), caracterizado por una estación seca prolongada entre noviembre y abril, y una estación lluviosa de mayo a octubre. La temperatura media anual en la región es de 24.4°C, y la precipitación media anual es de 1012 mm (Vidal-Zepeda, 2005). Durante la temporada de lluvias, las precipitaciones son abundantes, lo que favorece el desarrollo de los ecosistemas

forestales, pero también la región experimenta una sequía a mediados del verano, fenómeno conocido localmente como la canícula (Mardero et al., 2020), que ocurre entre finales de julio y agosto.

Vegetación

La vegetación de Calakmul es una mezcla de diferentes tipos de selvas, que varían según la altitud, las precipitaciones y las características del suelo.

Selvas medianas subperennifolias y subcaducifolias

Estas comunidades vegetales presentan un estrato arbóreo predominante con alturas que varían entre 15 y 25 m. Se establecen en ambientes con condiciones ambientales restrictivas, caracterizados por suelos someros y una precipitación relativamente baja.

Entre las especies predominantes se encuentran el ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.), el cedro (*Cedrela odorata* L.), el zapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen), el chechén (*Metopium brownei* (Jacq.) Urb.), el k'aatal oox (*Swartzia cubensis* (Britton & P. Wilson) Standl.) y la caoba (*Swietenia macrophylla* King). Además, se registran especies epífitas características, como la barba española (*Tillandsia fasciculata* Sw.) (Islebe et al., 2015) (Fig. 2).



Figura 2. Selva mediana subperennifolia, Calakmul, Campeche, México.

Acahual

Las comunidades sucesionales de la región de Calakmul, resultado de disturbios antropogénicos como la agricultura, la tala y los incendios, presentan una alta diversidad de especies de distintas edades (Martínez & Galindo-Leal, 2002) (Fig. 3). Estas formaciones vegetales son comunes en áreas cercanas a asentamientos humanos y zonas de actividad económica.

Entre las especies más comunes y abundantes que caracterizan estas áreas se encuentran el katsín (*Acacia gaumeri* S.F. Blake), el chaká (*Bursera simaruba* (L.) Sarg.), el guarumo (*Cecropia peltata* L.), la majagua (*Hampea trilobata* Fryxell), el tzalam (*Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth.), el chechén (*Metopium brownei* (Jacq.) Urb.), el jabín (*Piscidia piscipula* (L.) Sarg.), el helecho águila (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) y el chamizo (*Viguiera dentata* (Cav.) Spreng.).

Estas comunidades se encuentran ampliamente distribuidas en la región, particularmente en zonas aledañas a áreas pobladas o antiguas áreas chicleras. Un ejemplo representativo de este tipo de vegetación es Xpujil, especialmente en la zona de los ranchos ubicados a lo largo de la carretera (Martínez & Galindo-Leal, 2002).



Figura 3. Acahual, comunidad sucesional Calakmul, Campeche, Mexico.

Sistema agroforestal

Dentro del programa Sembrando Vida, se seleccionó un sistema agroforestal que combina árboles maderables, frutales y cultivos básicos como maíz, frijol, calabaza y chile (Fig. 4). Este tipo de manejo busca favorecer tanto la autosuficiencia alimentaria como la regeneración ambiental.

El sistema se basa en el modelo tradicional de milpa, una práctica agrícola característica de la región que consiste en el cultivo simultáneo de diferentes especies en una misma parcela. Generalmente, estas áreas se utilizan durante algunos años y posteriormente se dejan en descanso o barbecho para permitir la recuperación del suelo. Este tipo de sistemas suele establecerse en zonas cercanas a las selvas (Klepeis et al., 2004).



Figura 4. Sistema Agroforestal del programa Sembrando Vida. Calakmul, Campeche, México.

Trabajo de campo

Se llevaron a cabo cuatro colectas distribuidas en dos temporadas del año: temporada de secas (abril y mayo) y temporada de lluvias (agosto y octubre), donde se tomaron muestras de hojarasca para analizar la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos. Para ello, se seleccionaron tres sitios: una selva mediana subperennifolia, un acahual y un sistema agroforestal.

Colecta

En cada sitio, se colocaron transectos de 50 m de largo y se tomaron seis muestras de hojarasca cada 10 m de distancia iniciando desde el punto cero. Las dimensiones de las muestras fueron de 20 x 20 cm y una profundidad de 10 cm, utilizando la guía de delimitación de superficie (Fig. 5 A). Las muestras recolectadas se colocaron en bolsas de manta para preservar la humedad, y se etiquetaron con información detallada de la colecta, incluyendo la fecha, el tipo de vegetación, el número de muestra y la temperatura (Fig. 5 B). Obteniendo un total de 72 muestras para este estudio.



Figura 5. AB. A. Guía de delimitación de superficie, B. Bolsa de manta con muestra de suelo debidamente etiquetada.

Trabajo de laboratorio

Extracción de organismos

Las muestras fueron transportadas al laboratorio de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, donde se procesaron utilizando embudos tipo Berlese-tullgren modificado (Fig. 6) (Krantz, 1978; 2009). Este método consiste en colocar la hojarasca recolectada sobre la boca ancha del embudo, que cuenta con una malla de 2 mm de diámetro. En la parte inferior del embudo se colocará un frasco con alcohol al 70%, ajustado perfectamente al diámetro del embudo. Una vez colocadas, se dejaron secar a temperatura ambiente durante 7 días, lo que permitirá que los organismos de la muestra descendieran por las paredes del embudo. Este proceso se basa en el principio biológico del fototropismo negativo y el geotropismo positivo, que son características de los organismos edáficos (Krantz y Ainscough 1990; Krantz, 2009). Así, la fauna edáfica cae en el frasco colector, se procede a la revisión de los frascos, se separarán y cuantifican por grupos taxonómicos.

La identificación de los ácaros Oribatidos se llevó a cabo con la ayuda de un microscopio estereoscópico, y la determinación taxonómica de los organismos se realizó utilizando claves especializadas para Oribátida (Balogh & Balogh, 1988; 1992; 2012).



Figura 6. Método del embudo de Berlesse-Tullgren utilizado para procesar las muestras colectadas.

Preparación: aclaración y montaje de los organismos

Como parte del proceso de identificación, se realizaron preparaciones permanentes de los organismos utilizando líquido de Hoyer (Fig. 7 B). Los ácaros fueron previamente sometidos a un proceso de aclaración (Fig. 8 B). La aclaración consiste en la maceración de los tejidos internos y la preservación del exoesqueleto o cutícula en donde se encontrarán las estructuras morfológicas claves para su identificación, con ayuda del microscopio óptico. Posteriormente, se realizaron los montajes en portaobjetos, los cuales serán conservados como material de referencia (Fig. 8 A).



Figura 7. A. Ejemplares en viales, **B.** Material utilizado para la preparación de los organismos.



Figura 8. AB. A. Montajes permanentes de ácaros oribátidos en portaobjetos, **B.** Aclarado de lactofenol.

Temperatura, humedad y pH

Durante las colectas, se midió la humedad, la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica del suelo. Para ello, se utilizó un termómetro de vástago para medir la temperatura (Fig. 9 A), el cual se introdujo a una profundidad de 5 cm en cada uno de los sitios seleccionados. Además, se tomó suelo adicional de los puntos de colecta para determinar en laboratorio el pH con un pH-metro electrónico y la conductividad eléctrica con un conductímetro.

Para determinar la humedad del suelo, se consideró una muestra inicial de 150 g, la cual fue pesada y posteriormente colocada en la estufa del laboratorio (Fig. 9 B), donde se mantuvo durante 48 horas a una temperatura constante de 105 °C. Este proceso de secado sigue el método gravimétrico, que permite calcular la cantidad de humedad perdida y, con ello, estimar el contenido de agua presente en el suelo (Mira et al., 2007).



Figura 9. AB. A. Termómetro para medir temperatura, **B.** Estufa de laboratorio.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos de los organismos cuantificados e identificados se registraron en una base de datos utilizando el programa PRIMER, PAST 4.13 y Microsoft Excel.

Para los análisis estadísticos, se consideraron los organismos a nivel de familia. Se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H'), índice de equidad de Pielou (J'), y índice de dominancia de Simpson (λ).

Abundancia relativa (%)

La abundancia relativa se expresa como el porcentaje de individuos de cada especie con respecto al total de individuos registrados, obtenida al dividir ambos valores y multiplicar el resultado por 100 (Moreno, 2001).

$$\text{Abundancia Relativa} = n/N \times 100$$

Donde:

n = total de individuos que presenta cada especie

N = total de individuos presentes

Riqueza específica (S)

La riqueza específica corresponde al número total de especies registradas en la comunidad mediante un censo.

Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')

Este índice evalúa la equidad en la distribución de la abundancia entre las especies que conforman una comunidad. Representa el grado de incertidumbre al predecir la especie a la que pertenece un individuo seleccionado al azar, asumiendo que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos y que todas las especies

están representadas en la muestra. Sus valores oscilan entre 0, cuando la comunidad está integrada por una sola especie, y el logaritmo de la riqueza específica (S), cuando todas las especies presentan la misma abundancia (Moreno, 2001).

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

Donde:

p_i = abundancia relativa de la especie i

Índice de equitatividad de Pielou (J')

El índice de equidad de Pielou cuantifica el grado en que la diversidad observada se aproxima a la diversidad máxima esperada. Sus valores oscilan entre 0 y 1; un valor cercano a 1 refleja una distribución uniforme de la abundancia entre las especies (Moreno, 2001).

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

Donde:

$H'_{max} = \ln (S)$

Índice de dominancia de Simpson (λ)

El índice de dominancia de Simpson estima la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente de una muestra pertenezcan a la misma especie. Este índice otorga mayor peso a las especies dominantes, por lo que sus valores aumentan conforme una o pocas especies concentran la mayor parte de los individuos. Debido a su relación inversa con la equidad, la diversidad puede expresarse como $1-\lambda$ (Moreno, 2001).

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

Donde:

p_i = proporción de la abundancia de la especie i , calculada como el cociente entre el número de individuos de la especie i y el número total de individuos registrados en la muestra.

Índices de similitud/disimilitud

Para evaluar los patrones de similitud en la composición de la comunidad de ácaros oribátidos entre los tipos de vegetación y las temporadas de muestreo, se realizó un análisis de ordenación no métrica multidimensional (NMDS, Non-metric Multidimensional Scaling), utilizando la matriz de similitud de Bray-Curtis. Este método permite representar gráficamente las relaciones de similitud entre las muestras en un espacio de baja dimensionalidad, donde las muestras con composición más similar se agrupan más estrechamente (Clarke y Warwick, 2001)

Análisis de similitud (ANOSIM)

Para evaluar las diferencias en la composición de la comunidad de ácaros oribátidos entre los diferentes tipos de vegetación y temporadas de muestreo, se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) de dos vías. El análisis se efectuó a partir de una matriz de similitud de Bray-Curtis, utilizando los datos de abundancia transformados mediante $\log(x+1)$. La significancia estadística se determinó mediante pruebas de permutación, y las diferencias entre los grupos se evaluaron mediante el estadístico R (Clarke y Ainsworth, 1993).

Análisis BIOENV

El análisis BIOENV es una técnica multivariada utilizada para identificar cuáles variables ambientales presentan la mayor relación con los patrones de composición de una comunidad biológica. Este método compara matrices de similitud biológica y ambiental mediante correlaciones, permitiendo reconocer qué factores ambientales explican mejor la distribución de los organismos (Clarke y Ainsworth, 1993).

Análisis de Correspondencia Canónica (CCA).

El Análisis de Correspondencia Canónica (CCA, por sus siglas en inglés) es una técnica de ordenación multivariada que permite evaluar la relación entre la composición de las comunidades biológicas y las variables ambientales. Este análisis organiza simultáneamente las muestras, las especies y las variables ambientales en un espacio multivariado, facilitando la interpretación de los gradientes ecológicos que influyen sobre la distribución de los organismos (Ter Braak, 1986). En ecología, el CCA es ampliamente utilizado para identificar cuáles variables ambientales presentan mayor influencia sobre la estructura de las comunidades.

Resultados

Evaluación del esfuerzo de muestreo

Con el fin de evaluar la representatividad del esfuerzo de muestreo, se construyó una curva de acumulación de familias utilizando la riqueza observada (Sobs) y el estimador no paramétrico Chao1. La curva de acumulación de familias mostró una tendencia hacia la asíntota conforme aumentó el número de muestras analizadas (Fig. 10). La riqueza observada (Sobs) registró un incremento rápido durante las primeras muestras y posteriormente la tasa de incorporación de nuevas familias disminuyó gradualmente hasta estabilizarse alrededor de las 40 familias registradas. De acuerdo a el estimador de riqueza (Chao1) presentó valores ligeramente superiores a la riqueza observada durante las primeras etapas del muestreo; sin embargo, ambas curvas convergieron hacia el final del análisis. Estos resultados indican que el esfuerzo de muestreo fue suficiente para representar la mayor parte de la riqueza de familias de ácaros oribátidos presentes en el gradiente de vegetación evaluado.

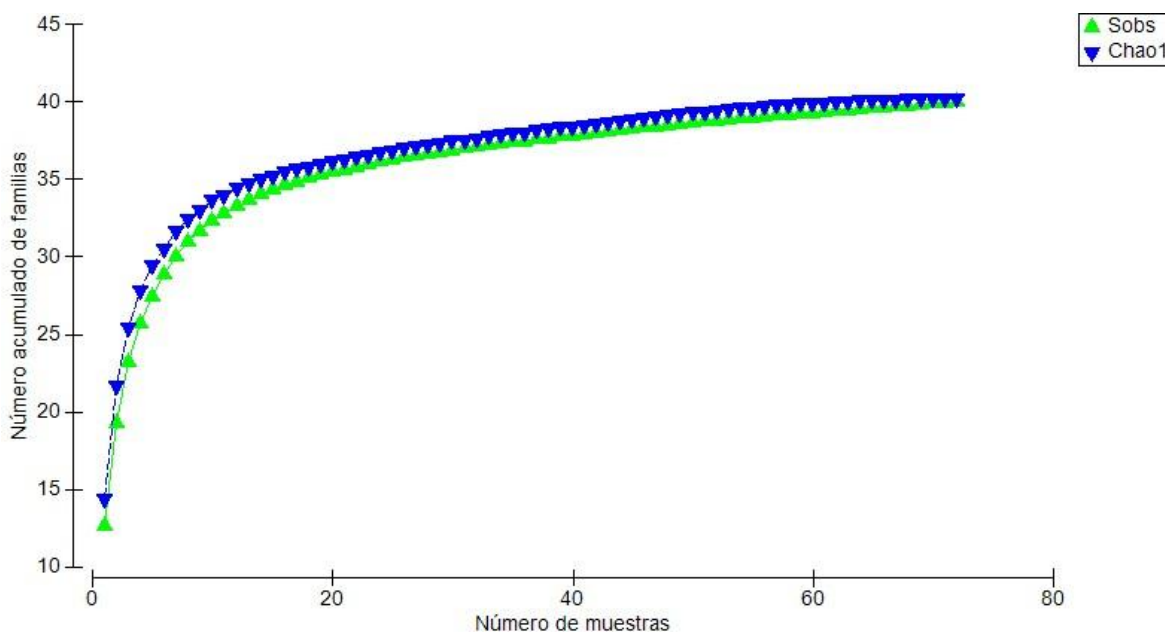


Figura 10. Curva de acumulación de familias de ácaros oribátidos obtenida mediante 999 permutaciones aleatorias.

Composición y abundancia general de la comunidad

Una vez evaluada la representatividad del esfuerzo de muestreo, se analizó la composición y abundancia de la comunidad. En el presente estudio se registraron un total de 12,641 individuos de ácaros oribátidos agrupados en 40 familias, a partir de 72 muestras analizadas en tres tipos de vegetación en Calakmul, Campeche. La selva mediana fue el tipo de vegetación que presentó la mayor abundancia acumulada, con 4,571 individuos registrados (36.1 % del total), seguida del área del sistema agroforestal (cultivo) con 4,472 individuos (35.3 %) y el acahual con 3,598 individuos (28.4%) (Fig. 11).

La familia Microtegeidae fue la más abundante, con 1,800 individuos, representando el 14.2 % del total registrado, seguida de Hypochthoniidae con 1,468 individuos (11.6 %) y Trhypochthoniidae con 1,124 individuos (8.9 %). En contraste, las familias menos representadas fueron Plasmobatidae (0.023 %), Nasobatidae (0.01 %) y Acaronychidae (0.007 %), evidenciando una baja abundancia relativa dentro de la comunidad. La distribución de la abundancia por familia se muestra en la figura 12.



Figura 11. Abundancia acumulada de ácaros oribátidos en tres tipos de vegetación (selva mediana, acahual y sistema agroforestal) durante el periodo de estudio en Calakmul, Campeche.

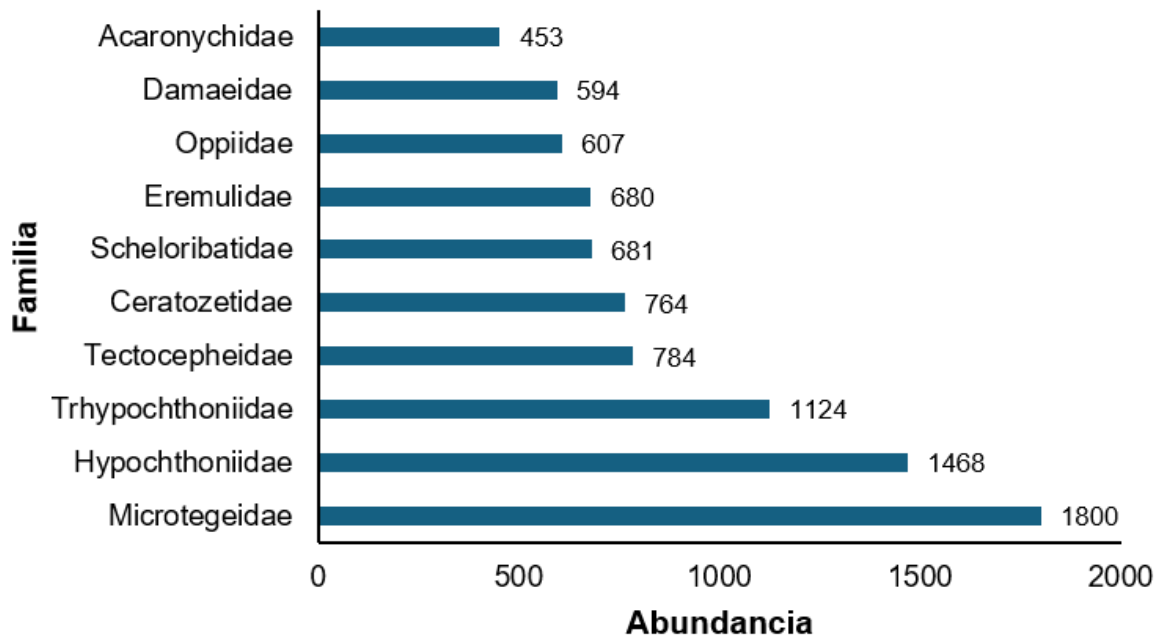


Figura 12. Abundancia absoluta de las diez familias más representativas de ácaros oribátidos registradas en los tres tipos de vegetación en Calakmul, Campeche.

Estructura de la comunidad de ácaros oribátidos

Índices de diversidad

La diversidad de la comunidad de ácaros oribátidos mostró diferencias entre los tipos de vegetación evaluados (Tabla 1). La selva mediana presentó los valores más altos en los tres índices analizados, con una diversidad de Shannon de 2.25 ± 0.50 , seguida del acahual (1.78 ± 0.62) y el sistema agroforestal (1.22 ± 0.61). Este patrón de reducción a lo largo del gradiente fue consistente tanto en la dominancia de Simpson ($1 - \lambda$) como en la equitatividad de Pielou (J'). En el caso de la equitatividad, la selva mediana mostró una distribución más homogénea de las abundancias (0.84 ± 0.06), mientras que el sistema agroforestal presentó el valor más bajo (0.63 ± 0.28). El acahual registró valores intermedios en ambos índices, ubicándose entre la selva mediana y el sistema agroforestal en términos de diversidad y equitatividad (Tabla. 1).

Tabla 1. Índices de diversidad general de la comunidad: diversidad de Shannon(H'), diversidad de Simpson ($1-\lambda$) y equitatividad de Pielou (J') en tres tipos de vegetación en Calakmul, Campeche.

Sitio	Diversidad (H')	Dominancia ($1-\lambda$)	Equitatividad (J')
Selva Mediana	2.25 ± 0.51	0.86 ± 0.07	0.85 ± 0.07
Acahual	1.79 ± 0.63	0.80 ± 0.17	0.78 ± 0.14
Sistema agro-forestal	1.23 ± 0.62	0.59 ± 0.29	0.64 ± 0.29

Diferencias en la composición de la comunidad entre tipos de vegetación

Índice de similitud Bray-Curtis

El análisis de agrupamiento jerárquico se realizó a partir del índice de similitud de Bray-Curtis, utilizando el método de promedio de grupo (*Group Average*) sobre los datos de abundancia transformados mediante $\log(x+1)$ (Fig. 13). El dendrograma mostró diferentes niveles de similitud en la composición de la comunidad de ácaros oribátidos entre las combinaciones de tipo de vegetación y muestreo, identificándose dos agrupaciones principales con una similitud cercana al 30 %. En términos generales, las muestras de selva y acahual tendieron a presentar una mayor afinidad en su composición, mientras que las correspondientes al sistema agroforestal mostraron una mayor variabilidad en su agrupación. La prueba SIMPROF identificó grupos con similitud significativa ($p < 0.05$), demostrando que algunas combinaciones compartieron una composición de la comunidad más semejante entre sí. No obstante, las agrupaciones no fueron exclusivas para cada tipo de vegetación, observándose un solapamiento entre muestras de selva, acahual y sistema agroforestal, lo que sugiere que, además del tipo de vegetación, la variación temporal también influyó en la estructura de la comunidad.

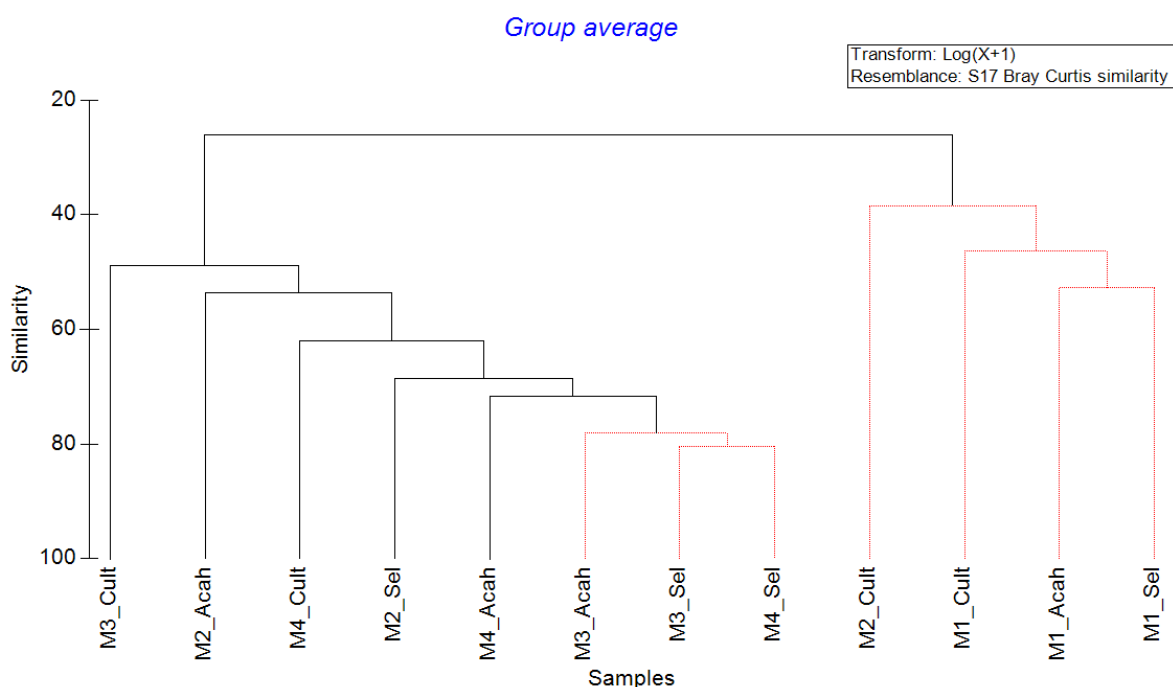


Figura 13. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis obtenido mediante el método *Group Average*, utilizando la abundancia promedio de las seis réplicas por tipo de vegetación y muestreo. Las líneas rojas indican los grupos significativos identificados mediante SIMPROF.

Análisis de similitud (ANOSIM)

El análisis de similitud (ANOSIM) reveló diferencias significativas en la composición de la comunidad de ácaros oribátidos entre los tres tipos de vegetación evaluados (Global $R = 0.166$; $p = 0.001$) (Tabla 2) (Fig. 14).

Las comparaciones por pares indicaron que el sistema agroforestal difiere significativamente tanto del acahual ($R = 0.192$; $p = 0.001$) como de la selva mediana ($R = 0.241$; $p = 0.001$), siendo esta última comparación la que mostró la mayor separación.

Por su parte, el acahual y la selva mediana también presentaron diferencias significativas ($R = 0.062$; $p = 0.024$), aunque con un menor grado de separación, lo que sugiere una mayor similitud en la composición de sus comunidades.

Tabla 2. Resultados del análisis de similitud (ANOSIM) para la comparación de la comunidad de ácaros oribátidos entre tipos de vegetación.

Comparación	R	p
Sistema agroforestal vs Acahual	0.192	0.001
Sistema agroforestal vs Selva mediana	0.241	0.001
Acahual vs Selva mediana	0.062	0.024

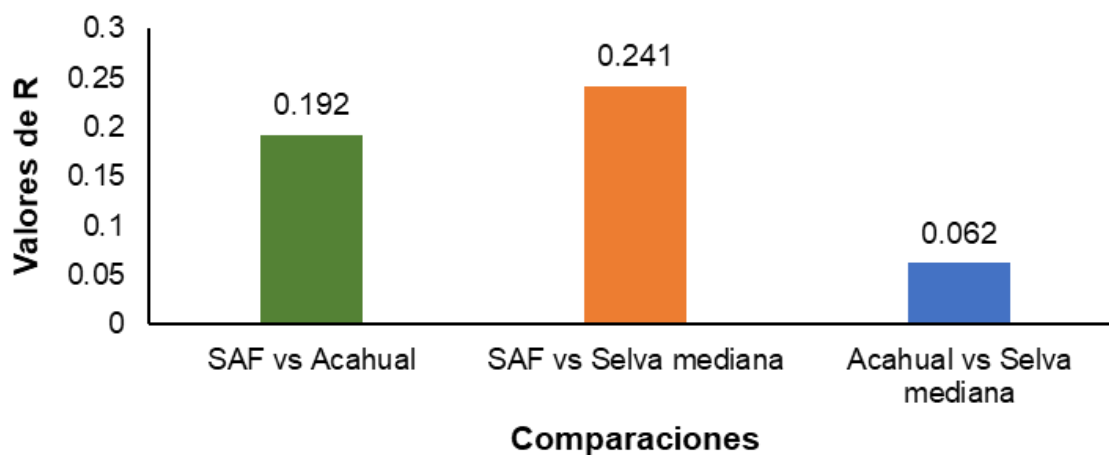


Figura 14. Gráfica del análisis de similitud (ANOSIM) para la comparación de la comunidad de ácaros oribátidos entre tipos de vegetación.

Contribución de las familias a la similitud y disimilitud de la comunidad

El análisis SIMPER permitió identificar las familias de ácaros oribátidos que contribuyen en mayor medida a la estructura de la comunidad dentro de cada tipo de vegetación y a las diferencias entre los sitios evaluados. La similitud promedio dentro de cada sitio fue mayor en la selva (44.67 %), seguida del acahual (33.28 %), mientras que el sistema agroforestal presentó la menor similitud interna (22.72 %).

En el sistema agroforestal, las familias que más contribuyeron a la similitud de la comunidad fueron Microtegeidae, Trhypochthoniidae, Ceratozetidae y Scheloribatidae, las cuales explicaron en conjunto más del 60 % de la similitud promedio. En el acahual destacaron principalmente Scheloribatidae, Hypochthoniidae, Ceratozetidae y Damaeidae. Por su parte, en la selva las familias con mayor contribución fueron Phthiracaridae, Ceratozetidae, Damaeidae y Scheloribatidae (Fig. 15).

En cuanto a la disimilitud entre los tipos de vegetación, el mayor contraste se registró entre el sistema agroforestal y acahual (80.56 %), seguido del SAF y selva (77.06 %), mientras que la menor disimilitud se observó entre acahual y selva (63.64 %). Estas diferencias estuvieron principalmente asociadas con variaciones en la abundancia de familias como Microtegeidae, Hypochthoniidae, Trhypochthoniidae, Damaeidae y Ceratozetidae (Fig. 16).

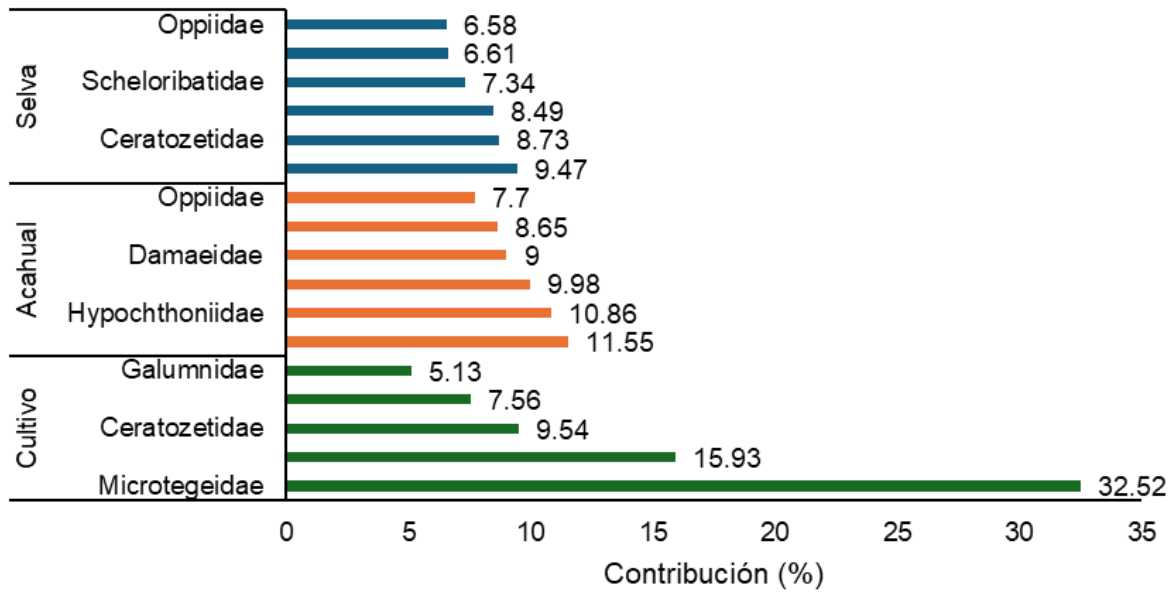


Figura 15. Contribución de las principales familias de ácaros oribátidos a la similitud entre los tipos de vegetación según el análisis SIMPER.

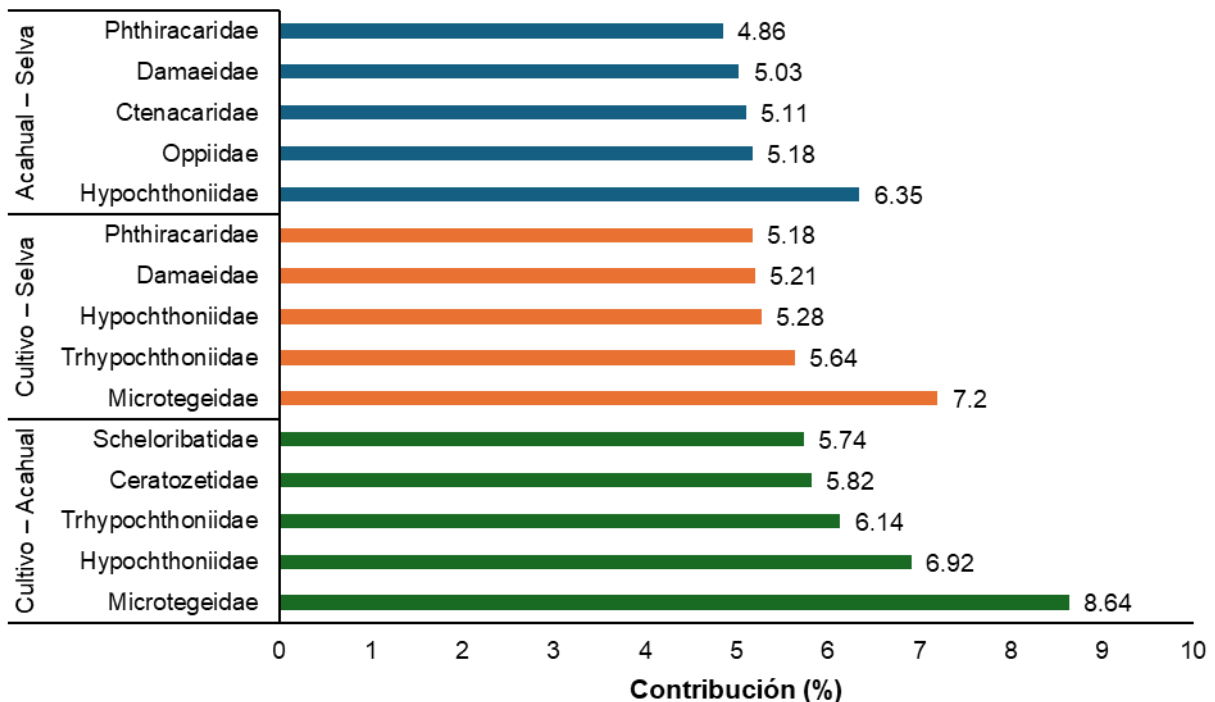


Figura 16. Contribución de las principales familias de ácaros oribátidos a la disimilitud entre los tipos de vegetación según el análisis SIMPER.

Análisis de ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico (MDS)

El análisis de ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico (MDS), basado en la matriz de similitud de Bray-Curtis, permitió visualizar las relaciones de similitud entre las muestras de los tres tipos de vegetación evaluados (Fig. 17). En el espacio de ordenación se observó que las muestras provenientes del sistema agroforestal tendieron a presentarse más dispersas, lo que indica una mayor variabilidad en la composición de la comunidad. Por su parte, las muestras correspondientes al acahual y a la selva mediana mostraron una tendencia a agruparse más cercanamente entre sí. El valor de estrés obtenido fue de 0.17, lo cual indica que la representación gráfica de las relaciones de similitud entre las muestras es aceptable.

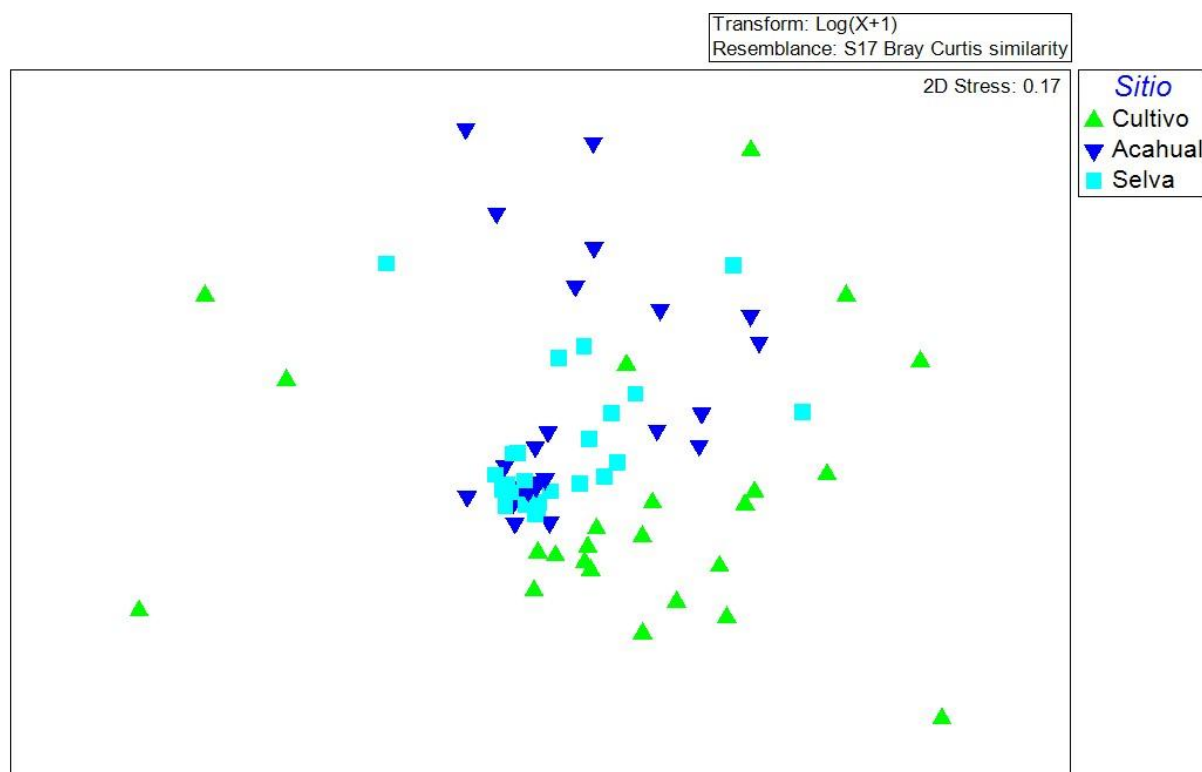


Figura 17. Ordenación MDS de la comunidad de ácaros Oribátidos basada en la similitud de Bray-Curtis entre muestras del sistema agroforestal, acahual y selva mediana en Calakmul, Campeche.

Variación temporal de la comunidad

Abundancia y variación por tipo de vegetación

La abundancia de ácaros oribátidos mostró una variación marcada entre temporada de muestreos y tipos de vegetación (Fig. 18). El muestreo 1, correspondiente a la temporada de secas, presentó los valores más bajos en los tres sitios, con un total acumulado de 236 individuos distribuidos en 21 familias, mientras que el muestreo 4, correspondiente a la temporada de lluvias, registró la mayor abundancia con 6,846 individuos distribuidos en 36 familias, concentrando más del 54 % del total de organismos registrados durante el estudio.

En los muestreos 2 (secas) y 3 (lluvias) se observó un incremento progresivo tanto en el número de individuos como en la riqueza de familias en todos los tipos de vegetación, pasando de 31 familias en el segundo muestreo a 33 en el tercero. El Sistema agroforestal mostró el aumento más pronunciado hacia el muestreo 4, superando ampliamente los valores registrados en los muestreos previos, mientras que el acahual presentó incrementos más moderados a lo largo del periodo de estudio.

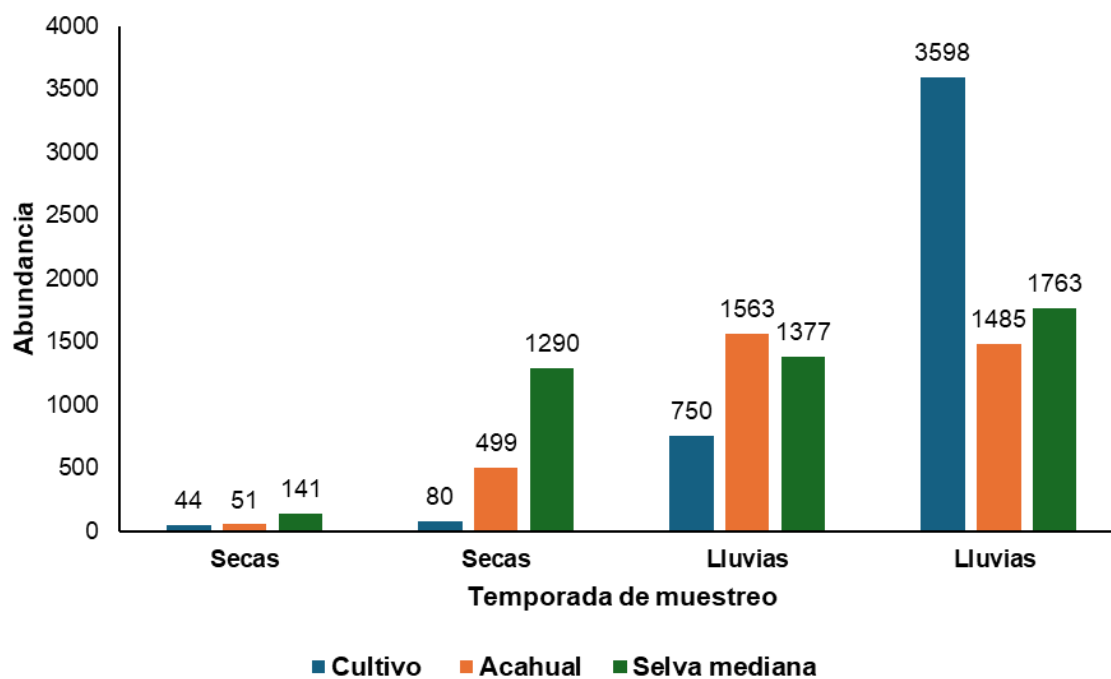


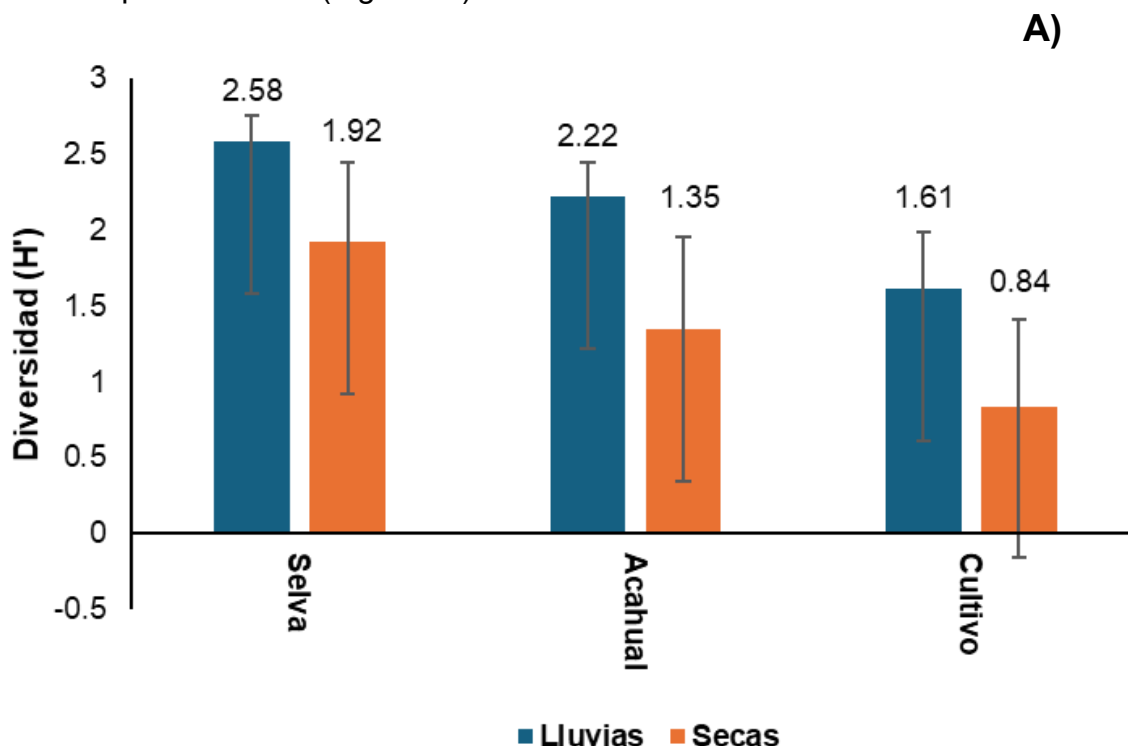
Figura 18. Variación de la abundancia de ácaros oribátidos por tipo de vegetación en cuatro colectas realizadas durante el periodo de estudio en Calakmul, Campeche.

Variación estacional de los índices de diversidad

La diversidad de la comunidad mostró variaciones entre temporadas dentro de cada tipo de vegetación (Fig. 19 ABC). En cuanto a la diversidad de Shannon (H'), los valores más altos se registraron consistentemente durante las lluvias, alcanzando un máximo en la selva mediana (2.58 ± 0.17), seguida del acahual (2.22 ± 0.23) y el sistema agroforestal (1.61 ± 0.38). Por el contrario, durante la época de secas, el índice de Shannon disminuyó en todos los sitios, siendo el sistema agroforestal la más afectada con un valor de apenas (0.84 ± 0.57) (Fig. 19 A)

Para la equitatividad de Pielou (J'), la distribución de las abundancias fue más homogénea en la selva mediana, con valores de 0.85 ± 0.05 en lluvias y 0.84 ± 0.08 en secas. Nuevamente el sistema agroforestal mostró la menor equitatividad y mayor variabilidad, especialmente en la temporada de estiaje (0.64 ± 0.41) (Fig. 19 B)

La diversidad de Simpson ($1-\lambda$) mostró el mismo patrón estacional, con valores mayores durante la temporada de lluvias en los tres sitios. En el sistema agroforestal, el índice aumentó de 0.47 ± 0.36 en secas a 0.70 ± 0.12 en lluvias. La Selva Mediana mantuvo la mayor dominancia acumulada en ambos periodos 0.89 y 0.83 respectivamente (Fig. 19 C).



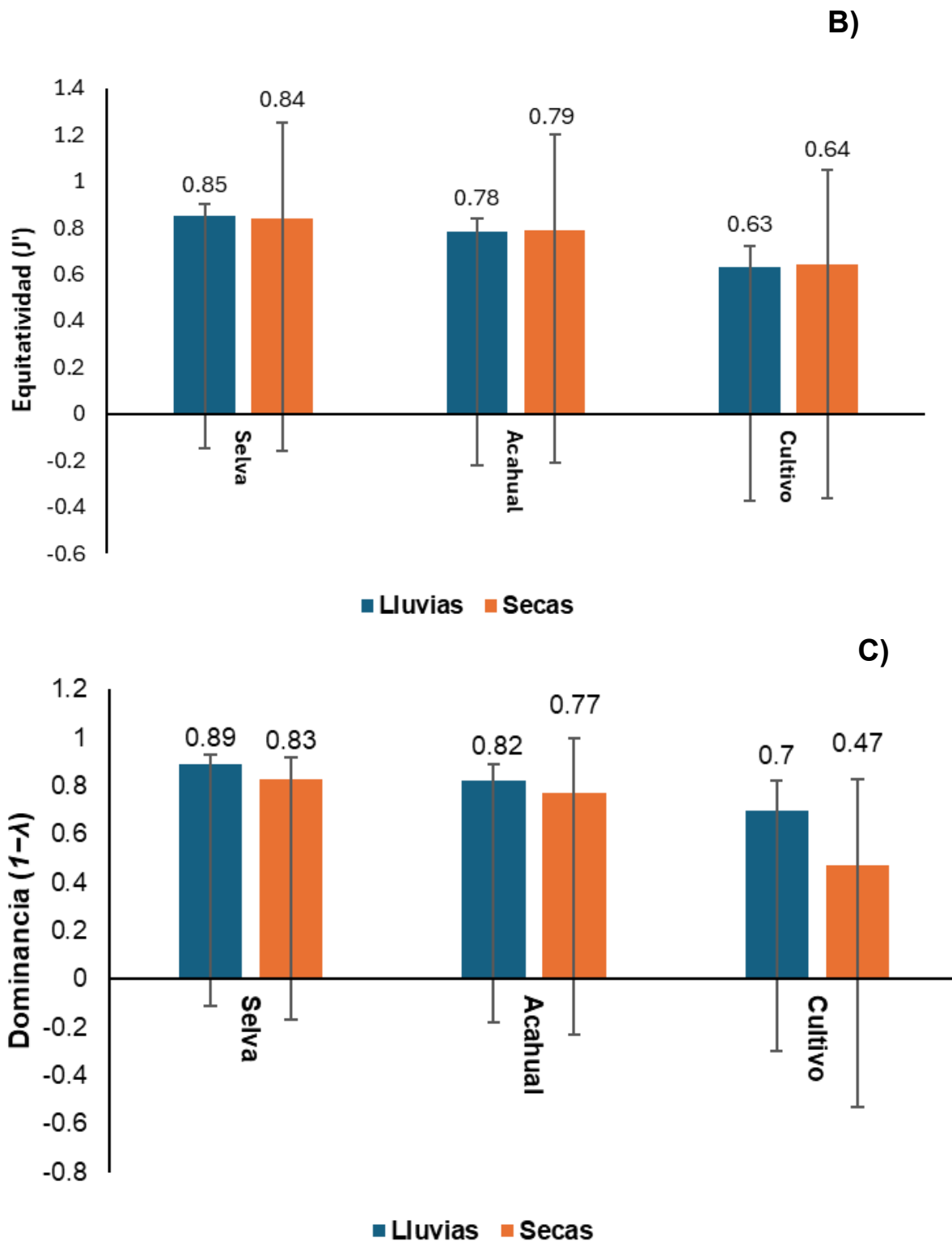


Figura 19. Variación de los índices de diversidad de la comunidad de ácaros oribátidos en los diferentes tipos de vegetación (selva mediana, acahual y sistema agroforestal) durante las temporadas de secas y lluvias. **A)** Índice de Shannon (H'), **B)** equitatividad de P_i (J'), y **C)** índice de Simpson ($1-\lambda$). Los valores corresponden a la media $\pm$ desviación estándar.

Diferencias en la composición de la comunidad

El análisis ANOSIM de dos vías mostró diferencias significativas en la composición de la comunidad de ácaros oribátidos entre los tipos de vegetación evaluados y entre temporadas (Tabla 3) (Fig. 20). En cuanto al efecto del tipo de vegetación, se detectaron diferencias significativas entre los tres sitios analizados ($R = 0.364$; $p = 0.001$). Las comparaciones por pares indicaron que las mayores diferencias se presentaron entre el sistema agroforestal y la selva mediana ($R = 0.478$; $p = 0.001$), seguido de la comparación entre el sistema agroforestal y acahual ($R = 0.456$; $p = 0.001$). En contraste, la diferencia entre el acahual y la selva mediana fue menor ($R = 0.214$; $p = 0.001$). Por otra parte, la temporada también mostró un efecto significativo sobre la estructura de la comunidad ($R = 0.424$; $p = 0.001$), lo que indica que la composición de los ácaros oribátidos varía entre la época de secas y la temporada de lluvias.

Tabla 3. Análisis de similitud (ANOSIM) de dos vías para evaluar diferencias en la composición de la comunidad de ácaros Oribátidos entre tipos de vegetación y temporadas.

Factor	Comparación	R	p
Tipo de vegetación	Global	0.364	0.001
	Sistema agroforestal vs selva mediana	0.478	0.001
	Sistema agroforestal vs acahual	0.456	0.001
	Acahual vs selva mediana	0.214	0.001
Temporada	Secas vs lluvias	0.424	0.001

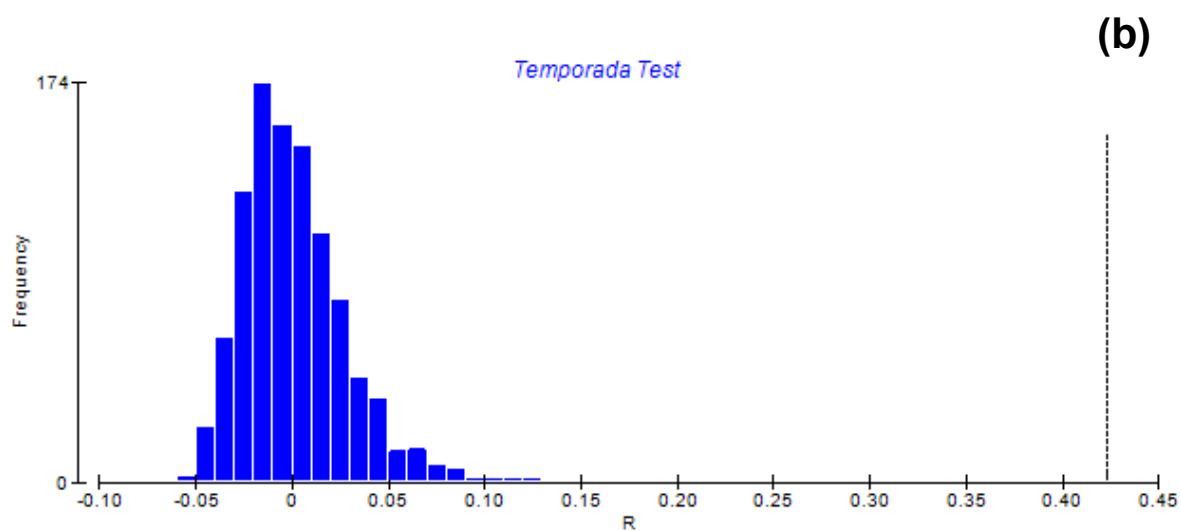
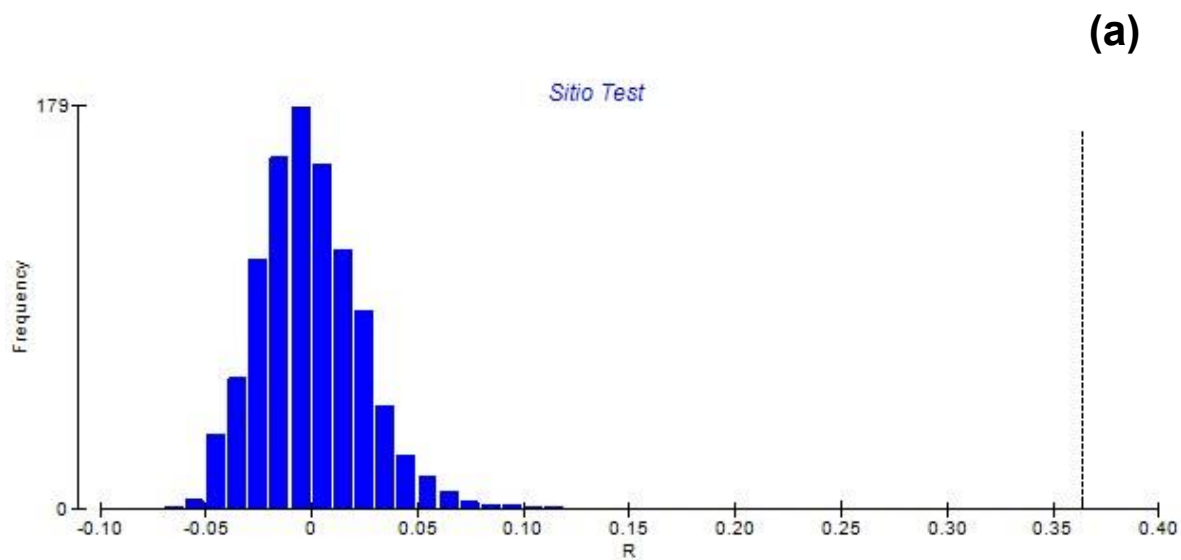


Figura 20. Histogramas de permutación del análisis ANOSIM para los factores tipo de vegetación (a) y temporada (b). La línea vertical indica el valor observado de R.

Influencia de las variables ambientales sobre la estructura de la comunidad

BEST-BIOENV

El análisis BIOENV, realizado mediante la correlación de Spearman entre la matriz de similitud de Bray-Curtis de la comunidad de ácaros oribátidos y las variables ambientales del suelo, mostró que la humedad fue el factor con la mayor correlación con la estructura de la comunidad ($\rho = 0.414$). La segunda mejor combinación correspondió a la humedad y el pH ($\rho = 0.390$), seguida por la combinación de humedad y temperatura ($\rho = 0.357$). Otras combinaciones de variables mostraron valores de correlación menores, como la combinación de pH, humedad y temperatura ($\rho = 0.349$) y pH con temperatura ($\rho = 0.290$) (Tabla 4) (Fig. 21).

Los análisis multivariados revelaron patrones consistentes entre la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos y las condiciones ambientales del suelo. El NMDS mostró una diferenciación en la distribución de las muestras de acuerdo con el tipo de vegetación, mientras que el análisis de correspondencia canónica (CCA) indicó que la variación en la composición de la comunidad estuvo principalmente relacionada con la humedad del suelo, la temperatura, la conductividad eléctrica y el pH. De manera concordante, el análisis BIOENV mostró que la humedad del suelo presentó la mayor correlación con la estructura de la comunidad ($\rho = 0.414$), seguida por la combinación de humedad y pH ($\rho = 0.390$), lo que sugiere que estas variables están relacionadas con los patrones de similitud observados entre las muestras.

Tabla 4. Análisis BIOENV que relaciona la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos con las variables ambientales del suelo.

Número de variables	Combinación de variables	ρ (Spearman)
1	Humedad	0.414
2	Humedad + Ph	0.39
2	Humedad + Temperatura	0.357
3	Humedad + pH + Temperatura	0.349
2	pH + Temperatura	0.29

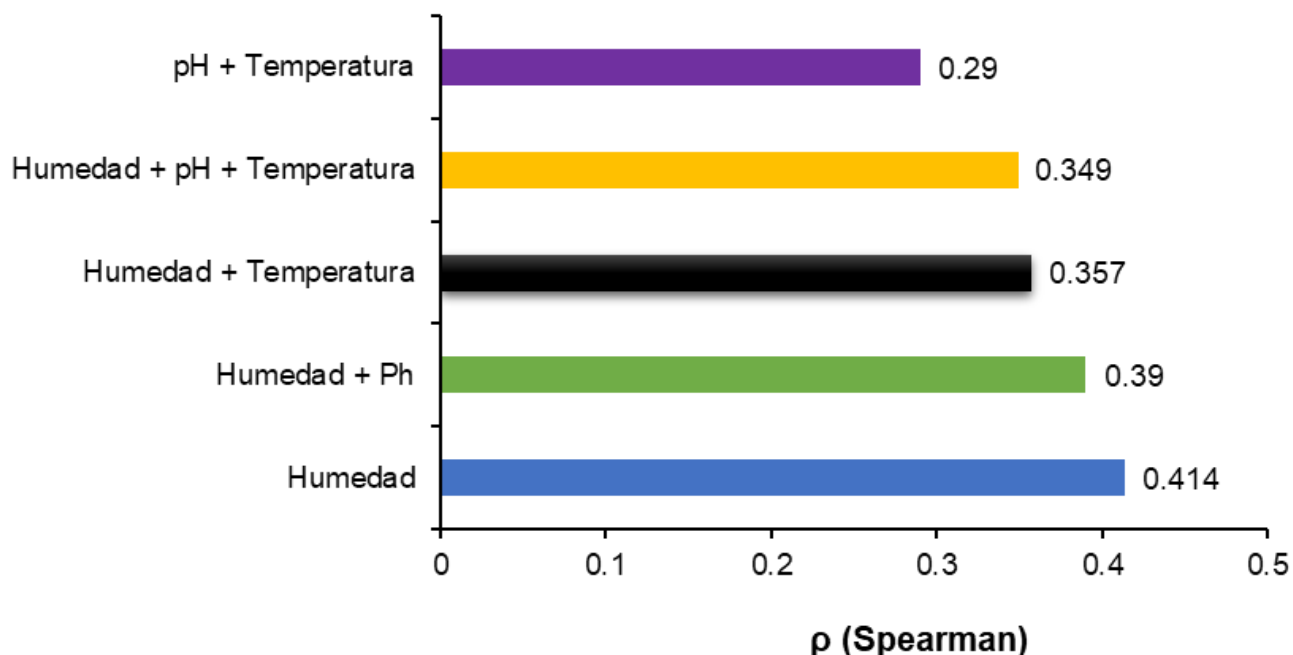


Figura 21. Gráfica de análisis BIOENV que relaciona la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos con las variables ambientales del suelo.

Análisis de correspondencia canónica (CCA)

El análisis de correspondencia canónica (CCA) mostró que los dos primeros ejes explicaron el 84.41% de la variación en la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos (Tabla 5) (Fig. 22). El eje 1 presentó un eigenvalue de 0.22127 y explicó el 60.57% de la variación, mientras que el eje 2 explicó el 23.84% con un eigenvalue de 0.087076

El eje 1 se asoció principalmente con el gradiente de humedad del suelo, siendo esta la variable ambiental de mayor influencia en la distribución de las muestras y familias (Fig. 22). Por el contrario, el eje 2 estuvo relacionado en menor medida con el pH, mientras que la conductividad eléctrica y la temperatura mostraron una contribución limitada.

En la ordenación, las muestras se distribuyeron principalmente a lo largo del eje 1, evidenciando una separación asociada a la humedad. La mayoría de las familias se

agruparon cerca del centro del diagrama, indicando una respuesta generalista a las variables ambientales, aunque algunas familias mostraron asociación con condiciones de mayor humedad.

Tabla 5. Valores propios (eigenvalues) y porcentaje de variación explicada por los ejes del análisis de correspondencia canónica (CCA).

Eje	Eigenvalue	% de contribución	% de inercia total
1	0.22127	60.57	8.376
2	0.087076	23.84	3.296
3	0.04308	11.79	1.631
4	0.013873	3.798	0.5252

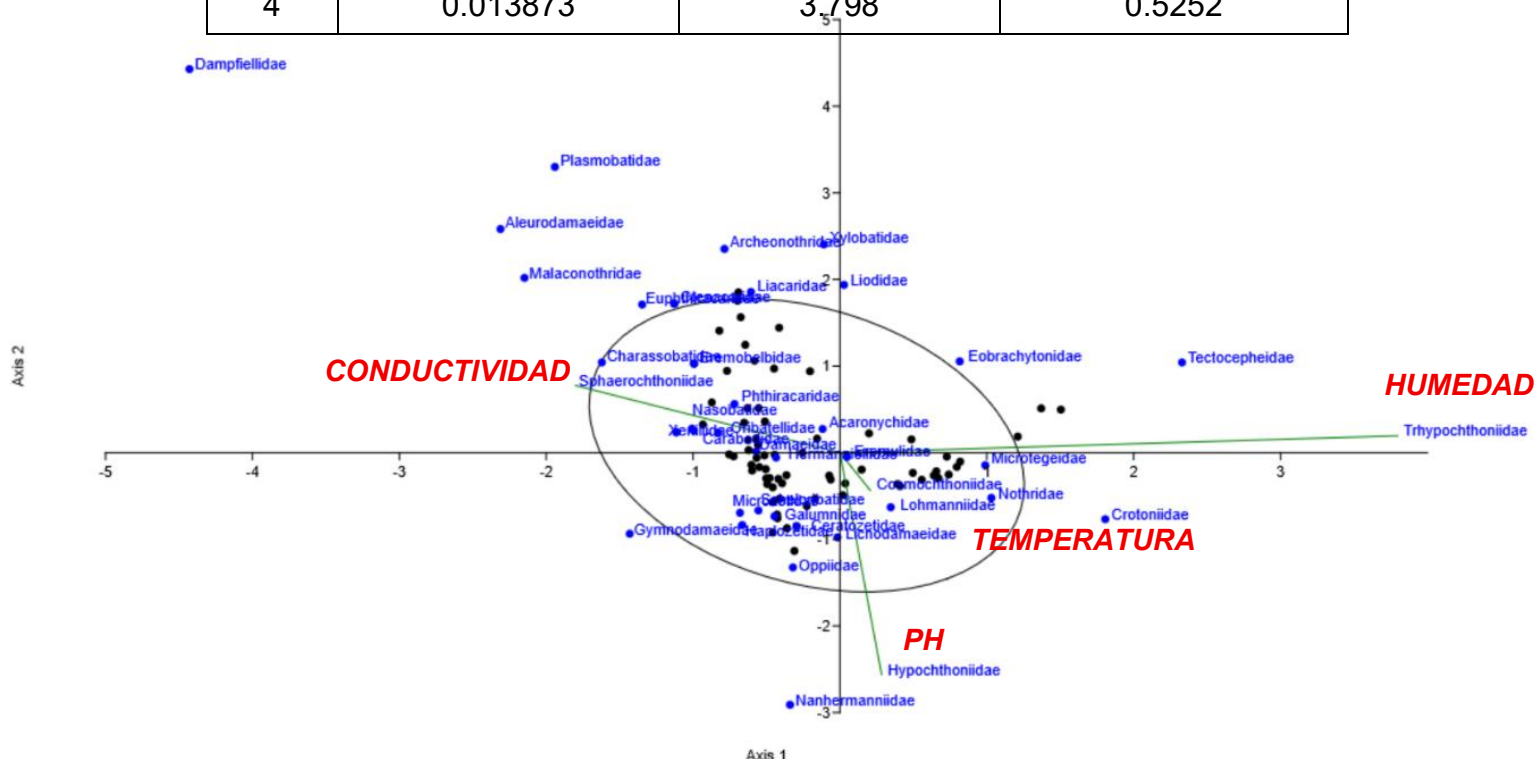


Figura 22. Análisis de correspondencia canónica (CCA). familias de ácaros oribátidos (puntos azules), las muestras (puntos negros) y las variables ambientales (flechas: pH, humedad, conductividad y temperatura).

Discusión

En ecosistemas tropicales como Calakmul, Campeche, donde la descomposición de la materia orgánica ocurre rápidamente y depende en gran medida de las condiciones ambientales, los ácaros oribátidos desempeñan un papel importante en los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes. Además, la estructura de estas comunidades puede cambiar de acuerdo con el tipo de vegetación y el grado de perturbación del suelo (Swift et al., 1979; Lavelle et al., 1997; Crowther et al., 2019).

En este estudio, el gradiente de vegetación representó distintos niveles de conservación y manejo del suelo dentro del paisaje de Calakmul. La selva mediana correspondió a un sitio con menor perturbación y mayor estabilidad de cobertura vegetal, mientras que el sistema agroforestal presentó un manejo activo asociado al programa Sembrando Vida. Por su parte, el acahual representó una etapa intermedia de regeneración secundaria. Estas diferencias influyeron sobre la disponibilidad de humedad, acumulación de hojarasca y estabilidad microambiental del suelo, factores que pueden modificar directamente la estructura de las comunidades edáficas.

Los resultados obtenidos muestran diferencias claras en la comunidad de oribátidos entre los tipos de vegetación evaluados. La selva mediana presentó la mayor abundancia y diversidad, mientras que el sistema agroforestal mostró los valores más bajos. Este patrón ha sido documentado previamente en otros ecosistemas tropicales, donde los ambientes conservados mantienen comunidades más complejas y estables debido a una mayor acumulación de hojarasca, humedad y disponibilidad de microhábitats.

En este estudio se registraron 12,641 individuos agrupados en 40 familias, reflejando una alta diversidad de oribátidos en los suelos de Calakmul. Franklin-Santos y Albuquerque (2006) registraron hasta 132 especies por sitio y densidades promedio de 5,040 individuos/m² en bosques tropicales de la Amazonia y Perú. De manera similar, Chen et al. (2024) reportaron entre 65 y 98 especies en bosques

subtropicales de China, observando que los sitios forestales presentaron comunidades más abundantes y diversas que los ambientes perturbados. Aunque se trata de ecosistemas distintos, los resultados coinciden en que la conservación de la cobertura vegetal favorece el mantenimiento de comunidades edáficas más complejas.

Los índices de diversidad también mostraron un gradiente claro entre los tipos de vegetación. La selva mediana presentó los valores más altos de Shannon ($H' = 2.25 \pm 0.51$) y equitatividad de Pielou ($J' = 0.85 \pm 0.07$), indicando una comunidad más equilibrada y menos dominada por unas cuantas familias. En contraste, el sistema agroforestal registró los valores más bajos de diversidad ($H' = 1.23 \pm 0.62$) y equitatividad ($J' = 0.64 \pm 0.29$). Bosch-Serra et al. (2024) registraron valores de Shannon cercanos a 2.19 en bosques húmedos mediterráneos y observaron una disminución importante de la diversidad en sistemas agrícolas. De manera similar, Patel et al. (2022) reportaron valores de Shannon de 2.23 en agroecosistemas con menor grado de perturbación y señalaron que la abundancia de oribátidos aumentó durante los meses con mayor humedad. Asimismo, Che-Uc et al. (2019) reportaron una mayor riqueza de oribátidos en selva secundaria en comparación con cultivos de maíz en Quintana Roo.

El acahual presentó valores intermedios de diversidad y composición, lo que refleja un proceso parcial de recuperación de las condiciones del suelo después de disturbios previos. La regeneración de la cobertura vegetal y el aumento gradual de materia orgánica probablemente favorecen el restablecimiento de las comunidades edáficas. Estudios realizados en selvas secundarias de la Península de Yucatán han documentado que, conforme avanza la sucesión vegetal, aumentan la diversidad, la complejidad estructural y la similitud con sitios conservados (López-Jiménez et al., 2019). De manera similar, en bosques tropicales secundarios de México se ha observado que la regeneración natural favorece la recuperación de procesos ecológicos y del hábitat para distintos grupos de organismos del suelo (Poorter et al., 2021). Por lo anterior, los acahuales pueden funcionar como sitios

importantes para la recuperación parcial de la biodiversidad edáfica dentro de paisajes tropicales perturbados.

La menor diversidad observada en el sistema agroforestal probablemente está relacionada con la perturbación constante del suelo y la reducción de cobertura vegetal. Behan-Pelletier (1999) menciona que los sistemas agrícolas suelen favorecer comunidades dominadas por pocas especies tolerantes al disturbio, reduciendo la heterogeneidad de la comunidad. Algo similar ocurrió en este estudio, donde algunas familias concentraron gran parte de la abundancia total.

A pesar de presentar menores valores de diversidad, el sistema agroforestal mantuvo una comunidad relativamente abundante de oribátidos. Esto podría relacionarse con la presencia de árboles, cobertura vegetal y acumulación de hojarasca promovida por el manejo agroforestal. Diversos estudios han señalado que los sistemas agroforestales pueden conservar parcialmente las condiciones edáficas y favorecer la permanencia de organismos asociados al suelo debido a una mayor heterogeneidad ambiental y cobertura vegetal en comparación con sistemas agrícolas intensivos (Perfecto y Vandermeer, 2008; Tsiafouli et al., 2015). Aunque existe perturbación asociada a las actividades productivas, este tipo de sistemas puede mantener parte de la fauna edáfica y contribuir a la conservación parcial de la biodiversidad del suelo en paisajes tropicales modificados (Luna-Nieves, y Salvatore, 2026).

Las familias Microtegeidae, Hypochthoniidae y Trhypochthoniidae fueron las más abundantes, representando más del 34 % de los individuos registrados. La dominancia de ciertas familias también ha sido reportada en otros ecosistemas tropicales. Villagómez et al. (2017) registraron una alta abundancia de Hypochthoniidae, Lohmanniidae y Phthiracaridae en suelo y hojarasca de selva alta perennifolia en Los Tuxtlas, Veracruz. De manera similar, Iglesias et al. (2019) encontraron que familias como Scheloribatidae, Oppiidae y Galumnidae dominaron comunidades de Oribátidos en suelos agrícolas con diferentes condiciones de humedad y manejo. Aunque las familias dominantes cambian entre ecosistemas, en todos los casos unas pocas familias concentran gran parte de la abundancia total,

posiblemente debido a diferencias en tolerancia ambiental y disponibilidad de recursos.

La alta abundancia de Hypochthoniidae y Trhypochthoniidae en este estudio indica que estas familias presentan una mayor tolerancia a cambios en humedad y disponibilidad de materia orgánica, permitiéndoles mantenerse en distintos tipos de vegetación. Además, algunas familias estuvieron asociadas principalmente a sitios con mayor cobertura vegetal y humedad, lo que sugiere una preferencia por ambientes más estables y con menor perturbación.

La variación temporal también fue evidente. Durante la temporada de lluvias se registró el mayor número de individuos, alcanzando 6,846 organismos, mientras que en la temporada seca solo se registraron 236 individuos. Este patrón coincide con lo reportado por Tome-Reyna et al. (2015) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, donde las mayores abundancias de ácaros Cryptostigmata ocurrieron durante los periodos con mayor humedad. Chen et al. (2024) también observaron un incremento importante en la abundancia durante temporadas húmedas, registrando densidades cercanas a 5,000 individuos/m² en primavera y una disminución considerable en épocas más secas.

La humedad parece desempeñar un papel clave en la dinámica de estas comunidades, ya que influye sobre la descomposición de la materia orgánica, la actividad microbiana y las condiciones microclimáticas del suelo. En este estudio, los análisis BIOENV y CCA mostraron que la humedad fue la variable ambiental con mayor relación con la estructura de la comunidad. El análisis BIOENV presentó la mayor correlación con esta variable ($p = 0.414$), mientras que el eje 1 del CCA explicó el 60.57% de la variación y estuvo asociado principalmente con el gradiente de humedad del suelo.

Resultados similares fueron reportados por Iglesias et al. (2019), quienes encontraron relaciones importantes entre la composición de oribátidos y variables como humedad, pH y conductividad eléctrica en suelos agrícolas de México. De manera similar, Villagómez et al. (2017) señalaron que la humedad y el contenido

de materia orgánica influyen directamente sobre la abundancia de varias familias de oribátidos en selvas tropicales. Además, Villarreal-Rosas et al. (2014) observaron que la pérdida de cobertura vegetal y los cambios en las condiciones microambientales del suelo reducen considerablemente la presencia de microartrópodos, resaltando la importancia de mantener condiciones estables de humedad y materia orgánica para conservar la fauna edáfica.

Conjuntamente, los resultados muestran que la estructura de la comunidad de oribátidos responde tanto al tipo de vegetación como al manejo del suelo y las condiciones ambientales asociadas. Los sitios con menor perturbación mantuvieron comunidades más diversas y equilibradas, mientras que los sistemas con manejo productivo presentaron cambios importantes en composición y abundancia. Sin embargo, el sistema agroforestal todavía conservó parte de la biodiversidad edáfica, lo que plantea que este tipo de manejo podría funcionar como una alternativa intermedia dentro de paisajes tropicales modificados.

Conclusión

El presente estudio permitió determinar que la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos en el gradiente de vegetación de Calakmul, Campeche, está influenciada tanto por el tipo de vegetación como por las condiciones edáficas, particularmente la humedad del suelo.

Se registró una alta abundancia y diversidad de oribátidos, confirmando la importancia de este grupo dentro de la fauna edáfica en ecosistemas tropicales. La selva mediana presentó los valores más altos de diversidad, equitatividad y abundancia, mientras que el sistema agroforestal registró los valores más bajos, reflejando el efecto de la perturbación sobre la estructura de la comunidad. El acahual presentó condiciones intermedias, posiblemente relacionadas con los procesos de regeneración de la vegetación y recuperación gradual del suelo.

La temporada de lluvias favoreció un incremento importante en la abundancia y diversidad de organismos, resaltando el papel de la humedad como uno de los principales factores que regulan la dinámica de estas comunidades. Este patrón también fue consistente con los análisis multivariados, donde la humedad presentó la mayor relación con la distribución de las familias.

En conjunto, los resultados muestran que los sitios con mayor cobertura vegetal y menor perturbación mantienen comunidades más diversas y equilibradas de ácaros oribátidos. Aunque el sistema agroforestal presentó cambios importantes en composición y diversidad, todavía conservó parte de la fauna edáfica registrada en los sitios con mayor cobertura vegetal, lo que resalta la importancia de mantener sistemas con cobertura arbórea y acumulación de hojarasca dentro de paisajes tropicales modificados.

Finalmente, este trabajo aporta información sobre la respuesta de los ácaros frente a cambios en el uso del suelo y variaciones ambientales en ecosistemas tropicales. Debido a su sensibilidad a las condiciones ambientales, estos organismos pueden

funcionar como herramientas útiles para evaluar cambios en la calidad del suelo y el efecto del manejo sobre la biodiversidad edáfica.

Referencias

- Acharya, S., Das, T., Roy, T., Adagale, D. N., & Gayen, S. (2025). Twenty-two new records of oribatid mites (Acari: Oribatida) reveals the hidden diversity below the Indian soil. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1-14.
- Balogh, J., & Balogh, P. (1988). *The soil mites of the world: Oribatid mites on Neotropical Region I*. Akadémiai Kiadó.
- Balogh, J., & Balogh, P. (1992). *Oribatid mites genera of the world*. Hungarian Natural History Museum.
- Balogh, P., & Balogh, J. (2012). *The soil mites of the world: Vol. 3: Oribatid mites of the neotropical region II* (Vol. 3). Elsevier.
- Bardgett, R. D. (2005). The diversity of life in soil. In R. D. Bardgett (Ed.), *The biology of soil: A community and ecosystem approach* (pp. 24–56). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198525035.003.0002>
- Bardgett, R. D., & Van Der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505-511.
- Behan-Pelletier, V. M. (1999). Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, ecosystems & environment*, 74(1-3), 411-423.
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Numerical ecology with R* (Vol. 2, p. 688). New York: springer.
- Cabrera, G. (2014). Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. *Fundación Rufford (RSGF, para la Conservación de la Naturaleza)*.
<https://doi.org/10.19136/era.a6n17.2011>
- Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, F. D., Villanueva-Jiménez, J., & Adame-García, J. (2019). Oribátidos, colémbolos y hormigas como indicadores de perturbación del suelo en sistemas de producción agrícola. *Ecosistemas y*

recursos agropecuarios, 6(17), 231-241.

<https://doi.org/10.19136/era.a6n17.2011>

Chen, Y., Wang, M. Q., Pan, X., Liang, C., Xie, Z., Scheu, S., & Chen, J. (2024).

Season affects soil oribatid mite communities more than tree diversity in subtropical forests. *Geoderma*, 443, 116826.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116826>

Che-Uc, W. I., Cutz-Pool, L. Q., Armenta-Tirado, L. E., y Rosado-Martín, S. E.

(2019). Ácaros oribátidos de una selva secundaria y un cultivo de maíz en el ejido de Nicolás Bravo, Quintana Roo, México. *Agroecosistemas Tropicales*, 317.

Clarke, K. R., & Ainsworth, M. (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine ecology progress series*, 205-219.

Clarke, K.R. & Warwick, R.M. (2001). Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd ed. PRIMER-E Ltd.

Crossley Jr, D. A. (1977). The roles of terrestrial saprophagous arthropods in forest soils: current status of concepts. In *The role of arthropods in forest ecosystems* (pp. 49-56). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Crowther, T. W., Van den Hoogen, J., Wan, J., Mayes, M. A., Keiser, A. D., Mo, L., & Maynard, D. S. (2019). The global soil community and its influence on biogeochemistry. *Science*, 365(6455), eaav0550.

Cutz-Pool, L.Q., y J. N. Cruz. 2013. Biodiversidad de ácaros oribatidos asociados a *Tillandsia festucoides* de Nicolás Bravo, Q. Roo. *Entomología mexicana*, 2(1)95-99.

Franklin-Santos, E. M., & Albuquerque, M. I. C. (2006). Diversity and distribution of oribatid mites (Acari: Oribatida) in a lowland rain forest in Peru and in several environments of the Brazilians States of Amazonas, Rondônia,

Roraima and Pará. *Brazilian Journal of Biology*, 66, 999-1020.

<https://doi.org/10.1590/S1519-69842006000600007>

Galindo-Leal, C. (1999). La Gran Región de Calakmul, Campeche: Prioridades biológicas de conservación y propuesta de modificación de la Reserva de la Biosfera. *México: World Wildlife Fund*.

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana* (5ª ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Hernández-Tirado, A. E., Castaño-Meneses, G., Ibañez-Huerta, A., Aguirre-Plata, L., Velázquez, D. P., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022). Artrópodos edáficos en diferentes usos de suelo de la Sierra Nevada, Tepetlaoxtoc, Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(1).

Ibarra-Manríquez, G., Villaseñor, J. L., Durán, R., & Meave, J. (2002). Biogeographical analysis of the tree flora of the Yucatan Peninsula. *Journal of biogeography*, 29(1), 17-29. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00648.x>

Iglesias, R., Palacios-Vargas, J. G., & Castaño-Meneses, G. (2019). Comparison of oribatid mites from agricultural soils with contrasting irrigation types in Hidalgo State, Mexico: a case study. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2780>

Islebe, G. A., Sánchez-Sánchez, O., Valdéz-Hernández, M., & Weissenberger, H. (2015). Distribution of vegetation types. *Biodiversity and conservation of the Yucatán peninsula*, 39-53.

Kamesa, S. K., Kioko, E. N., Chen, Y., & Chen, J. (2026). Forest conversion alters taxonomic and functional diversity of oribatid mite communities through shifts in environmental conditions in Taita Hills, Kenya. *Pedobiologia*, 151121.

- Kardol, P., Reynolds, W. N., Norby, R. J., & Classen, A. T. (2011). Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. *Applied*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.11.001>
- Klepeis, P., Vance, C., Keys, E., Mendoza, P. M., & Turner II, B. L. (2004). Sustained subsistence: Swidden agriculture or milpa. In D. R. Dindal (Ed.), *Integrated science of land change and tropical deforestation in southern Yucatán: Frontier dynamics* (pp. 189-206). Clarendon Press.
- Krantz, G. W. (2009). Form and functions. In G. W. Krantz & D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (3rd ed., Chap. 6, pp. 64-82). Texas Tech University Press.
- Krantz, G. W., & Ainscough, B. D. (1990). Acarina: Mesostigmata (Gamasida). In Dindal, D. L. (Ed.), *Soil biology guide*. Wiley.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P. O. W. H., & Dhillon, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers.
- López-Jiménez, L. N., Durán-García, R., & Dupuy-Rada, J. M. (2019). Recuperación de la estructura, diversidad y composición de una selva mediana subperennifolia en Yucatán, México. *Madera y bosques*, 25(1).
- Luna-Nieves, A.L. y Salvatore O. (2026) Análisis funcional, geográfico y prospectivo del Programa Sembrando Vida en México. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A. C. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18912465>
- Mardero, S., Schmook, B., Christman, Z., Metcalfe, S. E., & De la Barreda-Bautista, B. (2020). Recent disruptions in the timing and intensity of precipitation in Calakmul, Mexico. *Theoretical and Applied Climatology*, 140(1), 129-144.

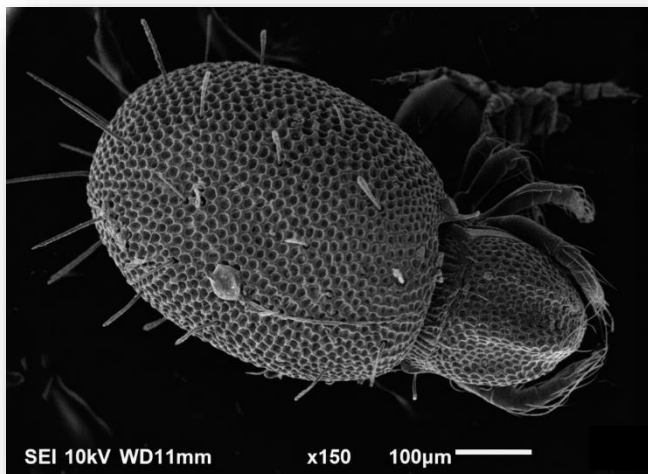
- Martínez, E., y Galindo-Leal, C. (2002). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la sociedad botánica de México*, (71), 7-32. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1660>
- Mira, M., Valor, E., Boluda, R., Caselles, V., & Coll, C. (2007). Influencia del efecto de la humedad del suelo en la emisividad del infrarrojo térmico. *Tethys*, 4, 3-10 <https://doi.org/10.3369/tethys.2007.4.01>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (Vol. 1). M&T–Manuales y Tesis SEA. Zaragoza.
- Patel, A. T., Shukla, A., & Patel, K. M. (2022). Biodiversity of soil oribatid mite (Acari: Oribatidae) in different agro-ecosystems. *Journal of Experimental Zoology India*, 25(1).
- Pérez, T. M., Guzmán-Cornejo, C., Montiel-Parra, G., Paredes-León, R., & Rivas, G. (2014). Biodiversidad de ácaros en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 399-407. <https://doi.org/10.7550/rmb.36160>
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: a new conservation paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 173-200.
- Poorter, L., Van Der Sande, M. T., Arets, E. J., Ascarrunz, N., Enquist, B. J., Finegan, B., & Peña-Claros, M. (2017). Biodiversity and climate determine the functioning of Neotropical forests. *Global ecology and biogeography*, 26(12), 1423-1434
- Poorter, L., Van Der Sande, M. T., Arets, E. J., Ascarrunz, N., Enquist, B. J., Finegan, B., & Peña-Claros, M. (2017). Biodiversity and climate determine the functioning of Neotropical forests. *Global ecology and biogeography*, 26(12), 1423-1434.
- Pravia, A., Barreto, C., Ashwood, F., & Keith, A. (2025). Oribatid mite taxa and composition associated with temperate habitats in Great Britain. *Applied Soil Ecology*, 215, 106471.

- Roy, S., Roy, M. M., Bano, R., & Saxena, P. (2017). Soil microarthropods: biodiversity and role in grassland and agroforestry ecosystems. *Agroforestry: Anecdotal to modern science*, 669-689. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_26
- Ruíz, E. V., Rizzuto, S., & Martínez, P. A. (2018). New records of oribatid mites (Acari: Oribatida) from Argentina. Scheu, S. (2002). Multitrophic interactions in decomposer food-webs. *Multitrophic level interactions*. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4370.2.8>
- Sánchez, S. P., Courtney, R., & Schmidt, O. (2021). Soil meso-and macrofauna indicators of restoration success in rehabilitated mine sites. *Handbook of ecological and ecosystem engineering*, 67-94. <https://doi.org/10.1002/9781119678595.ch4>
- Scheu, S., & Falca, M. (2000). The soil food web of two beech forests (*Fagus sylvatica*) of contrasting humus type: stable isotope analysis of a macro-and a mesofauna-dominated community. *Oecologia*, 123(2), 285-296.
- Socarrás A. (2013). Soil mesofauna: biological indicator of soil quality. *Pastos y forrajes*. 36: 5-13
- Stanton, N. L. (1979). Patterns of species diversity in the temperate and tropical litter mites. *Ecology*, 60(2), 295-304.
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M., & Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems* (Vol. 5). Univ of California Press.
- Ter Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167-1179.
- Tome-Reyna, S. A., Cutz-Pool, L. Q., & Ortiz-Léon, H. J. (2015). Variación espacio-temporal de ácaros (Cryptostigmata) en puntos estratégicos de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista Ingeniantes*, 2, 58-64.

- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., De Ruiter, P. C., Van Der Putten, W. H., Birkhofer, K., & Hedlund, K. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global change biology*, 21(2), 973-985.
- Vázquez, M. M. (1999). *Catálogo de los ácaros Oribátidos edáficos de Sian Ka'an, Q. Roo, México*.
- Vázquez, M. M., Hernández-Magaña, N. E., & Argüelles, N. G. (2023). Riqueza y biodiversidad de microartrópodos edáficos (Acari y Colembolla) en la comunidad de Raudales, Q. Roo, México. *AvaCient*, (ISSN: 2594-018X), 75–85.
- Vázquez, M.M., Valdez-Chan, L. V., Hernández-Magaña, N.E., & Uicab, D. M. (2024). Tiempo de degradación de la materia orgánica en una selva mediana de Petcacab, Quintana Roo, México. *Dugesiana*, 31(2), 149-158. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v31i2.7331>
- Villagómez, F., Palacios-Vargas, J. G., Castaño-Meneses, G., & Castellanos-Vargas, I. (2019). Effect of tree identity, temporal variation and edaphic parameters on the structure of the edaphic community of oribatid mites in an evergreen tropical forest of Mexico. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(6), 1411-1424. https://doi.10.15666/aeer/1706_1462114639
- Villarreal-Rosas, J., Palacios-Vargas, J. G., & Maya, Y. (2014). Microarthropod communities related with biological soil crusts in a desert scrub in northwestern Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(2), 513-522.
- Zar, J. H. (1984). *Biostatistical analysis* (2nd ed.). Prentice-Hall.
- Zepeda, R. V. (2005). *Las regiones climáticas de México 1.2. 2* (Vol. 2). UNAM.

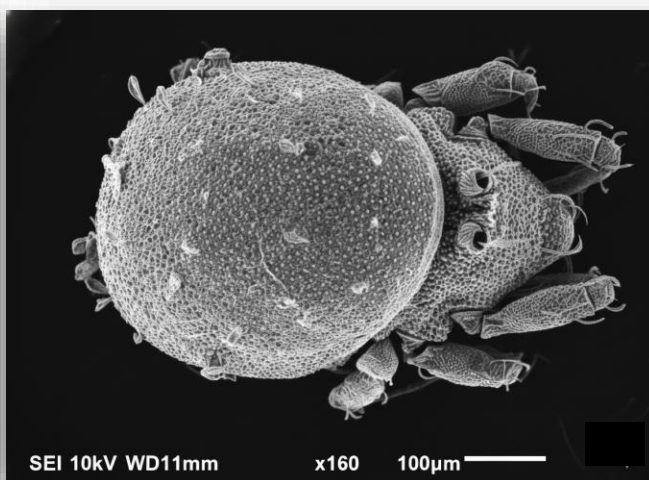
Anexos. Fotografías para la identificación de ácaros oribátidos.

Microscopio electrónico de barrido.



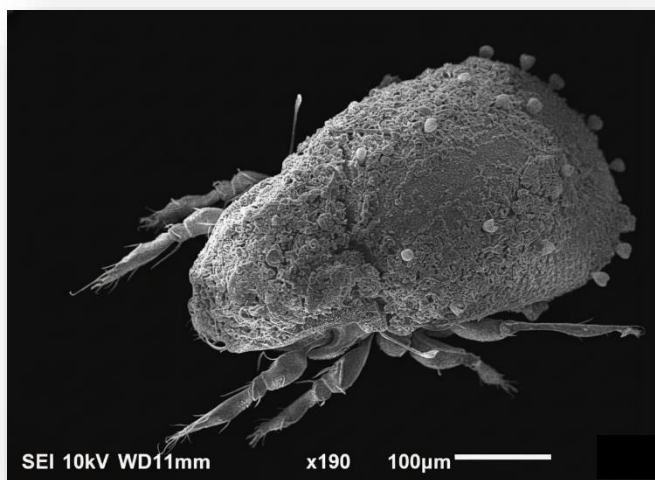
Familia: Phthiracaridae

Especie: *Hoplophthiracarus* sp.



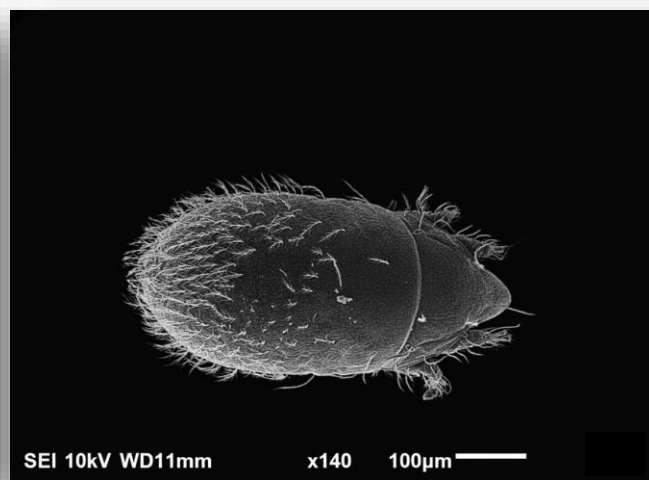
Familia: Hermannellidae

Especie: *Sacculobates* sp.



Familia: Carabodidae.

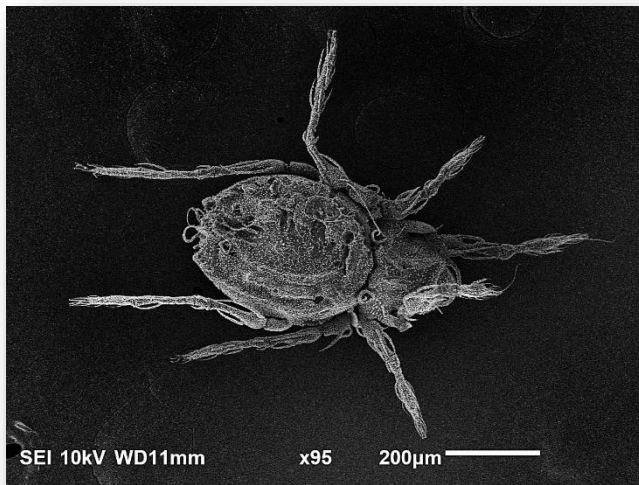
Especie: *klapperiches* sp.



Familia: Lohmanniidae.

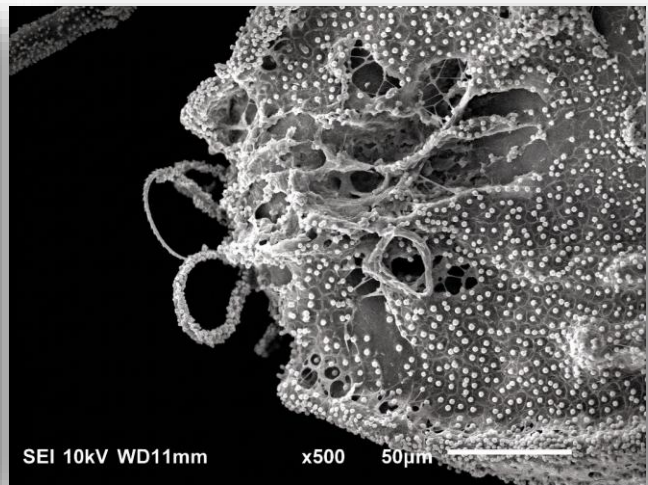
Especie: *Heptacarus* ca. *neotropicus*

Fotografías: Laboratorio de Microscopía Electrónica, ECOSUR Unidad Chetumal



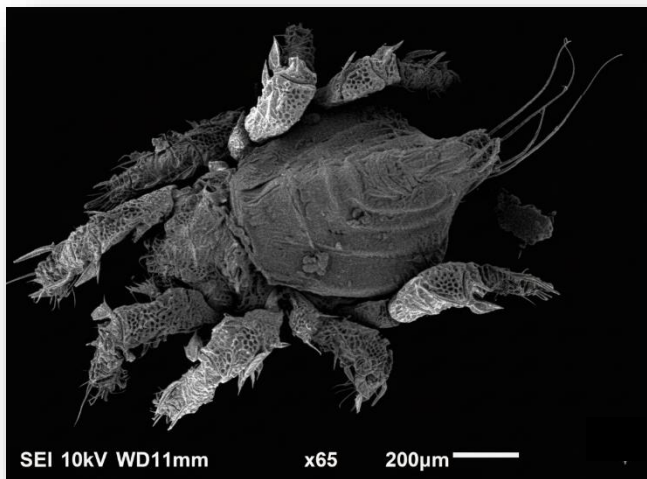
Familia: Gymnodamaeidae.

Especie: *Plesiodamaeus tuberculatus*.



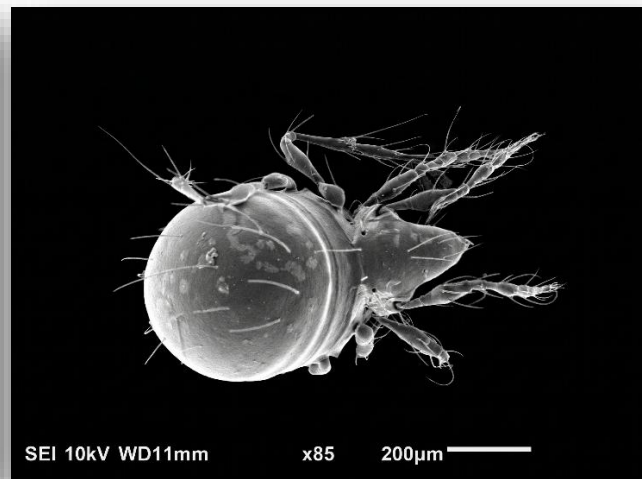
Detalle de setas dorsales de

Plesiodamaeus tuberculatus.



Familia: Neoliodidae.

Especie: *Teleioliodes madinensis*.



Familia: Oppidae.

Fotografías: Laboratorio de Microscopía Electrónica, ECOSUR Unidad Chetumal

Microscopio óptico Axio Scope (ZEISS)



Familia: Haplozetidae. Hembra.
Especie: *Rostrozetes foveolatus*.



Familia: Hypochthoniidae.
Especie: *Eohypochthonius* Sp 1.



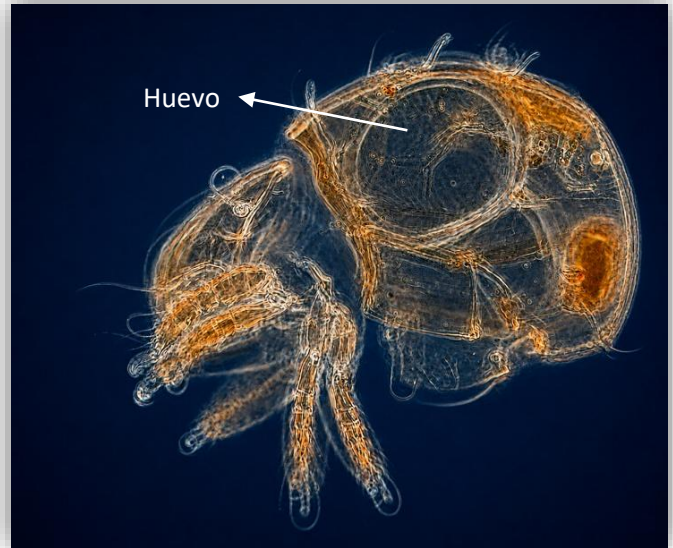
Familia: Damaeolidae.
Especie: *Fosseremus salaensis*.



Especie: *Pergalumna* Sp 1.



Familia: Eremobelbidae.
Especie: *Eremobelba piffli*.



Familia: Phthiracaridae. Hembra con huevos.
Especie: *Hoplophorella* sp 1.



Familia: Microtegeidae.
Especie: *Microtegeus* Sp 1.



Familia: Cosmochthoniidae.
Especie: *Cosmochthonius*.



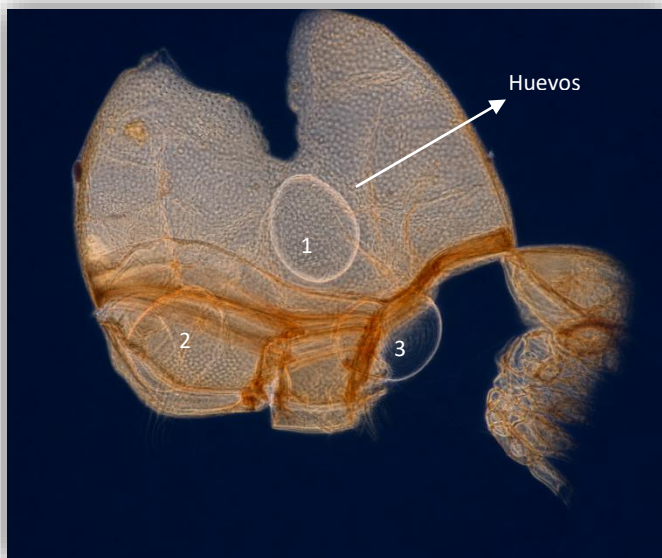
Familia: Cosmochthoniidae.

Especie: *Cosmochthonius* sp 2.



Familia: Eremobelbidae.

Especie: *Eremobelba ornata*.



Familia: Phthiracaridae.

Especie: *Hoplophthiracarus pervicax*.



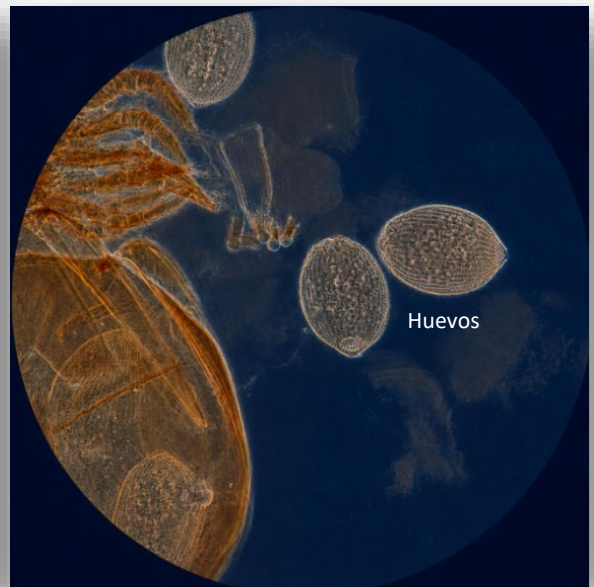
Familia: Neoliodidae.

Especie: *Teleioliodes madininensis*.



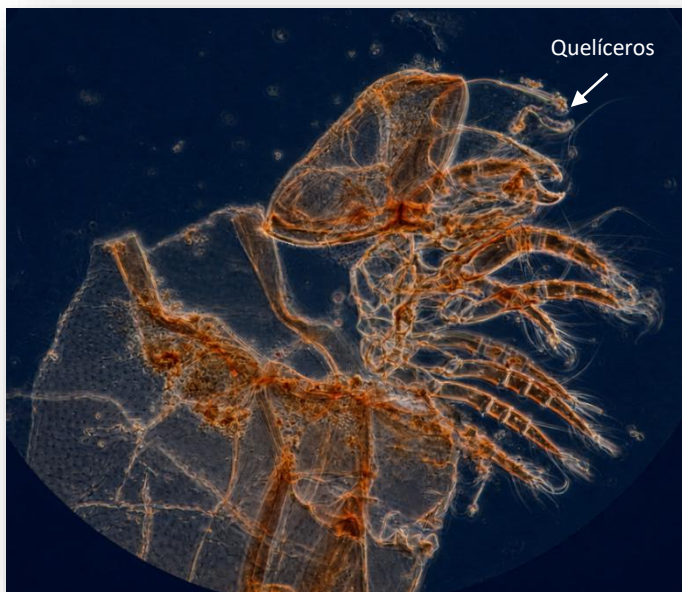
Familia: Haplozetidae.

Especie: *Protoribates antillensis*.



Familia: Euphthiracaridae.

Especie: *Euphthiracarus* sp 1.



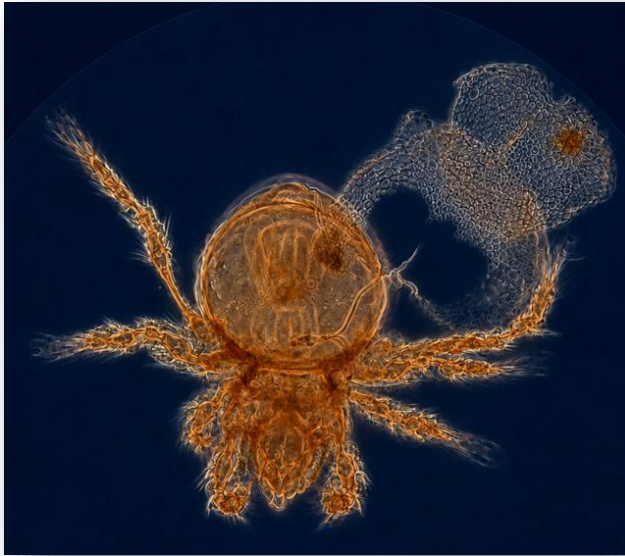
Familia: Phthiracaridae.

Especie: *Hoplophorella* sp 2.



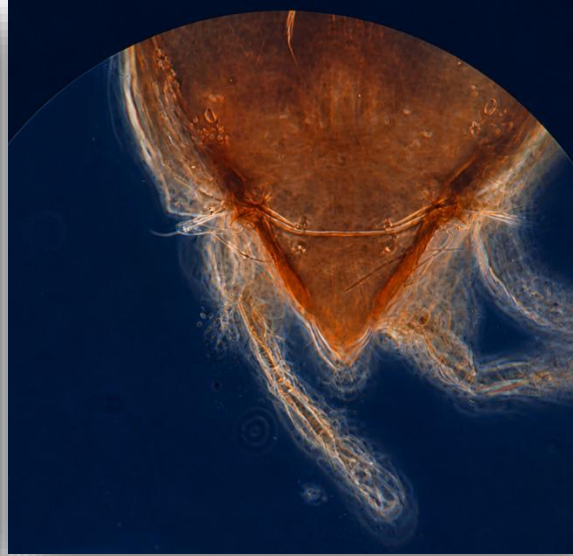
Familia: Cosmochthoniidae.

Especie: *Cosmochthonius* sp 3.



Familia: Basilobelbidae.

Especie: *Basilobelba weneri*.



Familia: Ceratozetidae.

Especie: *Ceratozetes* sp.



Familia: Haplozetidae.

Especie: *Peloribates* sp.



Familia: Nanhermanniidae.

Especie: *Cyrthermannia* sp.



Familia: Acaronychidae.

Especie: *Loftacarus* sp.



Familia: Cosmochthoniidae.

Especie: *Cosmochthonius* sp 4.



Familia: Sphaerochthoniidae.

Especie: *Sphaerochthonius* sp.



Familia: Dampfiellidae.

Especie: *Beckiella* ca. *fratercula*.



Familia: Oppiidae.

Especie: *Amerioppia* sp.



Familia: Neoliodidae.

Especie: *Teleoliodes* sp1.



Familia: Trhypochthoniidae.

Especie: *Archegozetes longisetosus*.



Familia: Galumnidae.

Especie: *pergalumna decoratissima*.



Familia: Microzetidae

Especie: *Brazilozetes phaseolus*.



Familia: Eremulidae.

Especie: *Eremulus brasiliensis*.