



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

Evaluación de los enemigos naturales de *Crataegus mexicana* en un
gradiente de cobertura de bosque en Ihuatzio, Michoacán.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ERENTIRA GARCÍA FLORES

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

COMITÉ TUTOR: DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

DR. ANTONIO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

MORELIA, MICHOACÁN, DICIEMBRE, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

Evaluación de los enemigos naturales de *Crataegus mexicana* en un
gradiente de cobertura de bosque en Ihuatzio, Michoacán.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ERENTIRA GARCÍA FLORES

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD
COMITÉ TUTOR: DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD
DR. ANTONIO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

MORELIA, MICHOACÁN, DICIEMBRE, 2023

COORDINACIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO
COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
OFICIO: CGEP/CPCB/ ENESMO /0876/2023
ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **14 de agosto de 2023** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Manejo Integral de Ecosistemas** de la estudiante **GARCÍA FLORES ERENTIRA** con número de cuenta **518002811** con la tesis titulada **"Evaluación de los enemigos naturales de Crataegus mexicana en un gradiente de cobertura de bosque en Ihuatzio, Michoacán"**, realizada bajo la dirección de la **DRA. EK DEL VAL DE GORTARI**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DRA. JULIETA BENÍTEZ MALVIDO
Vocal: DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES
Vocal: DR. MARIANA VALLEJO RAMOS
Vocal: DRA. ANDREA MARTÍNEZ BALLESTÉ
Secretario: DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 21 de agosto de 2023

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA

c. c. p. Expediente del alumno

AGNS/AAC/GEMF/EARR/mnm



Agradecimientos institucionales

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada para el desarrollo de este proyecto y mis estudios de posgrado.

Al Programa de Apoyos a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológicas (PAPIIT), por la beca otorgada por el proyecto BG200720.

A mi tutora, la Dra. Ek del Val de Gortari y a los miembros de mi comité tutor, el Dr. Roberto Antonio Lindig Cisneros y Antonio González Rodríguez por su asesoría y acompañamiento en este proyecto.

Agradecimientos a título personal

Mi primer agradecimiento, y el más especial, es para mi asesora, Ek del Val de Gortari. Gracias por abrirme las puertas, no solo del "Labo", sino también de la ciencia. Gracias por inspirarme en este mundo tan maravilloso de los "bichos" y por nunca dejar de creer en mí, aun cuando yo misma no creía.

Al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, por prestar sus instalaciones, tan bonitas, que hacen del trabajo en el laboratorio algo muy ameno y agradable.

A los miembros del jurado, muchas gracias por sus valiosas aportaciones: Dra. Julieta Benítez Malvido, Dra. Ana Isabel Moreno Calles, Dr. Roberto Antonio Lindig Cisneros, Dra. Mariana Vallejo Ramos y Dra. Andrea Martínez Ballesté.

Al laboratorio de Interacciones Bióticas en Hábitats Alterados y a todo el equipo que forma parte de él, o que ha pasado por ahí.

A todos los que participaron en mayor o menor medida en este proyecto, haciéndola de chofer, colectores de muestras, asesores o compañeros de aventura, o que al menos mantuvieron un excelente ambiente. No pude caer en un mejor laboratorio; aprendí mucho de todos ustedes y espero haberles ofrecido un poquito de mi parte: Wendy Mendoza, Lizeth Solís, Edaín, Migue, Cis, Enya, Juan Luis, Marisol, Katia, Leslie, Alicia Espinoza, Paula Avilés, Alonso Montiel, Iván, David, Ignacio y Natalia López. Muchas gracias por todo su apoyo.

A toda mi familia, que siempre ha estado para mí, especialmente a Alicia Galatea, quien me ayudó demasiado en las salidas a campo. A mi cuñis Rosi, que me ayudó mucho con los alimentos.

A mis padres por ser siempre un pilar en mi vida.

A Manuel López, mi compañero de vida, gracias por tanto amor, apoyo y motivación.

A Paloma Guzmán, mi apoyo emocional.

A mis amigos que me echaron una mano, tanto académica como emocionalmente, especialmente a Wendy, Ana, Liz, Iriani, Ana M. Flores, Darney, Cynthi, Oli, e Iman.

Agradezco a Ihuatzio, que me dio hogar y me vio crecer, y que siendo tan bello, inspiró y dio lugar a este proyecto.

“En cualquier selva del mundo,
En cualquier calle”

Silvio Rodríguez

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	4
Interacciones bióticas	4
Relaciones antagónicas	5
Relaciones mutualistas	5
Impacto humano	6
El cambio global	7
Interacciones bióticas en ambientes fragmentados	10
Fragmentación en los bosques templados mexicanos.....	11
Objetivo general	14
Objetivos específicos	15
Metodología	15
Especie de estudio	15
Distribución	16
Características del tejocote	18
Usos del tejocote.....	20
Sitio de estudio	21
Condiciones ambientales	25

Muestreo de invertebrados	25
Evaluación de la herbivoría	26
Incidencia de la planta hemiparásita <i>Psittacanthus calyculatus</i>	27
Evaluación de desempeño de <i>Crataegus mexicana</i> .	28
Análisis estadísticos	28
Resultados	29
Condiciones ambientales	29
Invertebrados	32
Herbívoros.....	34
Herbivoría	36
Incidencia de la planta hemiparásita <i>Psittacanthus calyculatus</i>	36
Desempeño de <i>Crataegus mexicana</i>	38
Caracteres reproductivos	39
Discusión	41
Desempeño de <i>Crataegus mexicana</i>	44
Conclusiones	46
Consideraciones finales	46
Referencias Bibliográficas	48

Índice de figuras

Figura 1. Crataegus mexicana. A) Árbol. B) Hoja. C) Flor. D) Fruto. _____ **16**

Figura 2. Distribución geográfica de Crataegus mexicana en México (Núñez-Colín et al., 2012). **17**

Figura 3. Cerca viva de Crataegus mexicana en Ihuatzio, Michoacán. Fotografía propia. **19**

Figura 4. Figuras religiosas acompañadas de ramas de tejocote decoradas con frutos y pan en la celebración de Corpus Cristi en la comunidad de Ihuatzio, Mich. Fotografías de Jennifer Uas̄isi Van. **20**

Figura 5. Mapa de localización área de estudio. Ihuatzio, Mich., Méx. Elaborado en QGIS 3.28 (QGIS, 2023) utilizando información de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapa Digital de México, 2021) y Google Earth (Google LLC., 2021) _____ **22**

Figura 6. Sitios de estudio. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%. _____ **23**

Figura 7. Categorías por porcentaje de cobertura de bosque. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%. _____ **24**

Figura 8. Categorías de daño considerando el porcentaje de daño foliar ejercido por herbívoros. _____ **26**

Figura 9. Categorías por porcentaje de incidencia de planta hemiparásita <i>P. calyculatus</i> en la copa de <i>C. mexicana</i> .	27
Figura 10. Temperatura en relación con la cobertura de bosque circundante. a) Temperatura máxima. b) Temperatura promedio. c) Temperatura mínima. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.	30
Figura 11. Condiciones de humedad ambiental con respecto a la cobertura de bosque circundante. a) Humedad relativa máxima. b) Humedad relativa promedio. c) Humedad relativa mínima. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.	31
Tabla 1. Abundancia total de invertebrados con respecto a los diferentes Órdenes.	32
Figura 12. Atrópodos encontrados en los árboles de tejocote pertenecientes a los órdenes de: a) Acari, b) Collembola, c) Coleóptera, d) Lepidóptera (larva), e) Socóptera f) Hymenóptera y g) Coleóptera (larvas).	33
Figura 13. Agrupación de las comunidades de invertebrados evaluada por fecha de muestreo mediante un análisis NMDS.	34
Figura 14. Abundancia de invertebrados herbívoros por mes de muestreo.	35
Figura 15. Herbivoría (promedio de categoría de área foliar removida) en relación a la fecha de muestreo.	36

Figura 16. Incidencia de planta hemiparásita *P. calyculatus* en relación a la cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

37

Figura 17. Cobertura del dosel (m²) en relación con la cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%. _____ 38

Figura 18. Altura de los individuos (m) en relación con la cobertura del bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%. _____ 39

Figura 19. Producción de flores. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%. _____ 40

Figura 20. Producción de frutos en relación a la cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%. _____ 40

Figura 21. Fruit set de árboles de *C. mexicana* en sitios con diferente cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%. _____ 41

Resumen

El tejocote es una especie nativa de México que se distribuye en las regiones montañosas del país, incluyendo la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y la Faja Volcánica Transmexicana. Además de su importancia ornamental y ecológica, el tejocote tiene un valor significativo en la cultura mexicana, utilizado en festividades y tradiciones. También es apreciado por su uso en la medicina tradicional y la industria alimentaria debido a su alto contenido de compuestos fenólicos, pectinas, vitaminas y minerales. En este estudio, se evaluó la salud de 60 árboles de tejocote (*Crataegus mexicana*) y sus interacciones con invertebrados y la planta hemiparásita *Psittacanthus calyculatus*, creciendo en diferentes coberturas de bosque. El objetivo central fue evaluar las condiciones ambientales e interacciones bióticas que afectan a los árboles de tejocote. La investigación se realizó en la comunidad de Ihuatzio, Michoacán durante el año 2018. Se seleccionaron seis sitios con diferentes niveles de cobertura de bosque y se evaluaron las condiciones micro ambientales. En diez árboles de *C. mexicana* por sitio, se evaluó la comunidad de invertebrados asociados al dosel, así como el daño por herbívoros y la incidencia de la planta hemiparásita *P. calyculatus*. Se evaluó el desempeño de los árboles (altura y cobertura del dosel) y se cuantificó la producción de flores y frutos. Los resultados mostraron que, en lugares con dosel abierto, los tejocotes experimentaron mayores niveles de humedad máxima. La cantidad de invertebrados encontrados estuvo relacionada con los patrones de lluvia y sequía, siendo julio el mes de mayor abundancia y abril el de menor abundancia. Los árboles de tejocote presentaron niveles similares de herbivoría, independientemente del bosque circundante. Se identificaron varios órdenes de invertebrados asociados a *C. mexicana*, destacando la presencia del coleóptero *Monocesta ducalis*. De los 58,656

invertebrados colectados, Acari y Collembola fueron los más abundantes, representando el 55.68% y 21.94%, respectivamente. Se observó una relación negativa entre la producción de frutos y la cobertura de bosque. La herbivoría en *C. mexicana* fue baja con un promedio de 3%, y no tuvo un efecto significativo en la producción de frutos. La presencia de la planta hemiparásita *P. calyculatus* fue del 25% y no mostró una relación con la cobertura de bosque ni con el desempeño de los árboles. Estos resultados mostraron que estar dentro del bosque puede ser desfavorable para la producción de frutos de *C. mexicana*. Los mecanismos asociados a un mejor desempeño de los árboles en áreas abiertas podrían estar asociados con la mayor presencia de polinizadores; sin embargo, esto aún debe ser estudiado. Este proyecto contribuye a comprender mejor la ecología y los factores que afectan a *Crataegus mexicana*.

Abstract

The tejocote is a native species of Mexico that is distributed in the mountainous regions of the country, including the Eastern Sierra Madre, Western Sierra Madre, Southern Sierra Madre, and the Trans-Mexican Volcanic Belt. In addition to its ornamental and ecological importance, the tejocote holds significant value in Mexican culture, being used in festivities and traditions. It is also appreciated for its use in traditional medicine and the food industry due to its high content of phenolic compounds, pectins, vitamins, and minerals.

This study evaluated the health of 60 tejocote trees (*Crataegus mexicana*) and their interactions with invertebrates and the hemiparasitic plant *Psittacanthus calyculatus*, growing in different forest cover types. The main objective was to assess the environmental conditions and biotic interactions affecting tejocote trees. The research was conducted in the community of Ihuatzio, Michoacán during the year 2018. Six sites with varying levels of

forest cover were selected, and microenvironmental conditions were assessed. For each site, ten *C. mexicana* trees were evaluated for the canopy-associated invertebrate community, herbivore damage, and the incidence of the hemiparasitic plant *P. calyculatus*. Tree performance (height and canopy coverage) was also assessed, and flower and fruit production were quantified. The results showed that in open canopy areas, tejocote trees experienced higher levels of maximum humidity. The abundance of invertebrates found was related to rainfall and drought patterns, with July having the highest abundance and April the lowest. Tejocote trees exhibited similar levels of herbivory, regardless of the surrounding forest. Various orders of invertebrates associated with *C. mexicana* were identified, with the coleopteran *Monocesta ducalis* being notably present. Of the 58,656 invertebrates collected, Acari and Collembola were the most abundant, representing 55.68% and 21.94%, respectively. A negative relationship was observed between fruit production and forest cover. Herbivory in *C. mexicana* was low, with an average of 3%, and did not have a significant effect on fruit production. The presence of the hemiparasitic plant *P. calyculatus* was at 25% and did not show a relationship with forest cover or tree performance. These results indicated that being within the forest could be unfavorable for fruit production in *C. mexicana*. The mechanisms associated with better tree performance in open areas may be linked to the increased presence of pollinators; however, this aspect requires further study. This project contributes to a better understanding of the ecology and factors affecting *Crataegus mexicana*.

Introducción

El tejocote, es una especie con un valor significativo para México en términos ornamentales, medicinales, ecológicos y culturales a nivel nacional, regional y local (José Antonio & Margarita, 2015; Carlos A. Núñez-Colín, 2009; R.Nieto-Angel; A.Barrientos-Villaseñor; M.W.Borys, 1996). Uno de los aspectos ecológicos relevantes del tejocote radica en el efecto positivo del cambio climático en su distribución (Núñez-Colín et al., 2008; Carlos A Núñez-Colín et al., 2012).

Sin embargo, con base en observaciones personales y como residente nativa de la comunidad de Ihuatzio, Michoacán, ha habido cambios notorios en la distribución, salud y abundancia de los tejocotes en esta comunidad, por lo que se vuelve relevante evaluar el estado de sus poblaciones en diferentes entornos y sus interacciones con otros organismos para determinar si existe algún patrón que esté influyendo en su distribución y estado de salud.

Interacciones bióticas

Los seres vivos no viven de manera aislada en la naturaleza, sino que comparten su entorno con otras especies, estableciendo relaciones a las que les llamamos interacciones bióticas (Krebs, 2014). Estas relaciones pueden ser beneficiosas, perjudiciales o no afectar a los individuos involucrados y algunas de ellas influyen en la obtención de recursos vitales como agua, luz y nutrientes(Del Val & Boege, 2012). Por ejemplo, en la depredación, un organismo puede alimentarse de otro, ya sea total o parcialmente. Sin embargo, no todas las interacciones son antagónicas.

Las interacciones bióticas suelen clasificarse según el efecto que tienen sobre las especies involucradas. Entre las interacciones antagónicas, destacan la competencia y la depredación.

Dentro de esta última se encuentran la herbivoría y el parasitismo. Por otro lado, dentro de las interacciones bióticas mutualistas, encontramos la polinización, la dispersión y la simbiosis (Del Val & Boege, 2012). Es posible comprobar de manera evidente estas interacciones al observar cómo cambian las poblaciones de una especie en presencia de otra (Krebs, 2014).

Relaciones antagónicas

La competencia es una interacción en la que un organismo consume un recurso que podría haber estado disponible para otro, lo que lleva a una privación y afecta el crecimiento y la supervivencia del otro organismo. Esto puede ocurrir entre individuos de la misma especie o de diferentes especies. Es decir, la competencia es una lucha por los recursos y puede tener consecuencias negativas para los individuos involucrados (Begon et al., 2006).

La depredación es otra relación antagonista en la que un individuo se beneficia al alimentarse de otro de distinta especie (Krebs, 2014). Existen diversas formas de esta relación, como el parasitismo y la herbivoría, cuyas consecuencias para el individuo atacado varían según la intensidad y duración de la interacción y puede resultar en la muerte de la presa (Del Val & Boege, 2012; Krebs, 2014).

Relaciones mutualistas

El mutualismo beneficia a ambas especies interactuantes y mejora la supervivencia, el desarrollo o la reproducción. Esta interacción suele ser una explotación recíproca en lugar de un esfuerzo de cooperación entre individuos y, en ocasiones, estas relaciones mutualistas anteriormente reflejaban interacciones hospedador-parásito o depredador-presa (Smith & Smith, 2007). Se postula que ancestralmente algunos parásitos y sus organismos

hospedadores tenían una relación simbiótica en la que el parásito se beneficiaba de un hábitat y recursos alimentarios a expensas de un hospedador, no obstante, evolucionaron para minimizar el impacto negativo de los parásitos de forma que los hospedadores desarrollaron defensas. Si sus adaptaciones contrarrestaban el impacto negativo, se convertían en comensalistas, una relación en la que una especie se beneficia sin afectar significativamente a la otra. En algún momento de la coevolución, la relación pudo volverse beneficiosa para ambos, lo que los llevo a una relación mutualista (Begon et al., 2006).

Impacto humano

Las interacciones bióticas son susceptibles a distintos tipos de perturbaciones de origen natural y antrópico. Sin embargo, el impacto causado por la actividad humana, es aún más profundo y duradero sobre los ecosistemas que las perturbaciones naturales (Medel et al., 2020). El ser humano ha provocado una reducción del hábitat de numerosas especies, de recursos disponibles e incluso ha exterminado especies con las que interactúa directa o indirectamente. Esto ha provocado una disminución de la riqueza de especies en ciertas regiones y con ello la extinción de diversos procesos ecológicos (Del Val & Boege, 2012). Actividades como el cambio de uso de la cobertura del suelo, del cual las manifestaciones más claras son la deforestación y la fragmentación, son algunos de los ejemplos de más impacto que el ser humano ha propiciado. Dichas actividades han provocado la reducción de la diversidad y abundancia de especies y han acarreado una variedad de efectos secundarios que pueden afectar las interacciones bióticas, la estructura de las comunidades vegetales y por ende a las especies asociadas (Guevara & Dirzo, 2012).

En los bosques, la fragmentación y el efecto de borde pueden tener efectos opuestos en diferentes especies de plantas, favoreciendo a aquellas que necesitan luz, pero perjudicando

a las que prefieren la sombra. Los cambios en la cascada trófica pueden afectar la forma en que las plantas interactúan con otros animales. Por ejemplo, la fragmentación puede afectar la depredación o herbivoría de forma positiva o negativa y también puede afectar la fertilidad del suelo debido a la presencia de fertilizantes de los campos cercanos. Se ha observado que la abundancia de herbívoros puede aumentar en algunos casos, mientras que en otros puede disminuir (Medel et al., 2020).

Cuando un hábitat se fragmenta, las interacciones de especies clave se interrumpen, lo que puede llevar a la pérdida de la diversidad de especies y a la sustitución de organismos especialistas por otras más generalistas (Clavel et al., 2011).

El cambio global

La influencia de la actividad humana, que se incluye en el conjunto de fenómenos conocido como "cambio global", transforma de forma significativa la mayoría de las comunidades, tanto en la composición y cantidad de las especies como en la organización de las interacciones ecológicas (Vitousek et al., 1997a; Sanderson et al., 2002). Es importante resaltar, como ya mencionamos, que las actividades humanas no afectan a todas las especies de la misma manera, algunas son perjudicadas y otras favorecidas, aunque en general más del 50% de las especies suelen verse afectadas negativamente, mientras que un número mucho menor de especies nativas se benefician de dichos impactos (McKinney y Lockwood, 1999, Medel et al., 2020).

El cambio climático es uno de los componentes del cambio global, relacionado con variaciones en la temperatura y humedad, que son factores determinantes para la fenología de las plantas. Estas variaciones en condiciones ambientales pueden modificar temporalidad

de la floración, por lo que repercuten en la constitución y comportamiento de los organismos y sus interacciones bióticas (Vilela et al., 2018). El tiempo de floración es un punto crítico para las plantas angiospermas; un pequeño cambio crea potenciales consecuencias en las interacciones con sus mutualistas y antagonistas. Esto lo podríamos ver reflejado en el éxito reproductivo de la planta al afectar las relaciones con sus polinizadores (Vilela et al., 2018). Un estudio analizó más de 1.700 especies de plantas y animales de todo el mundo para ver si sus cambios coincidían con las predicciones del cambio climático global del siglo XX; como el adelanto de la aparición primaveral, el retraso en la desaparición otoñal, la expansión hacia los polos y la desaparición de los límites ecuatoriales o inferiores en altitud. Descubrieron que más del 95% de las especies que habían cambiado seguían las predicciones del cambio global debido al aumento de la temperatura relacionado con el aumento de gases de efecto invernadero (Parmesan y Yohe, 2003). Esto significa que todas las interacciones sostenidas por estas especies son susceptibles de alteración.

En el mismo sentido, las fluctuaciones del clima pueden generar cambios en las interacciones entre las especies, por ejemplo, el aumento de la temperatura podría convertir una relación de coexistencia en una relación de competencia, intensificar la depredación o generar una nueva relación de depredador-presa. También pueden desaparecer algunas interacciones o permitir que dos especies coexistan, siendo favorecido el competidor inferior (Blois et al., 2013).

Como podemos ver, el cambio climático puede tener un impacto diverso en diferentes grupos de consumidores primarios y secundarios. La respuesta de los herbívoros es de particular interés, debido a su diversidad y la variedad de efectos que tienen sobre la vegetación (Del Val & Boege, 2012)

La temperatura es un factor que tiene un impacto preponderante en los insectos herbívoros, ya que puede modificar su actividad, tasa de ingestión y desarrollo, supervivencia, distribución y abundancia. La supervivencia invernal se ve especialmente afectada en latitudes altas. El calentamiento global ampliará el tiempo disponible para que los insectos herbívoros crezcan y se reproduzcan, pero también causará cambios impredecibles en la fenología de las plantas, lo que afectará la relación herbívoro-planta (Medel et al., 2020).

Por otro lado, la fragmentación del hábitat, que también forma parte del cambio global, tiene un impacto negativo en la dinámica de las poblaciones de casi todas las especies, ya que disminuye la conectividad de las poblaciones y aumenta la distancia entre los fragmentos. Como consecuencia directa de esto, se ve afectada la capacidad de dispersión y se reduce la tasa de migración de muchas especies (Krebs, 2014). Además, la fragmentación del hábitat tiene el efecto de aumentar el contacto relativo entre el hábitat original y el degradado, lo que provoca un aumento en el efecto de borde. Este efecto se extiende desde el borde de los fragmentos hacia su interior y se caracteriza por la imposición de condiciones típicas del hábitat circundante en el interior de los fragmentos. Como resultado, esto afecta negativamente los ciclos de vida de los organismos que habitan en los fragmentos (Medel et al., 2020).

Todas estas consecuencias tienen un impacto indirecto en la mortalidad y producción debido a la presión adicional de depredadores, competidores, parásitos y enfermedades. (Krebs, 2014).

Interacciones bióticas en ambientes fragmentados

Los cambios en el paisaje fragmentado no afectan a todas las especies de la misma manera, y por lo tanto no repercuten de la misma forma sobre todas las interacciones que se establecen entre las especies. Dado que la fragmentación puede favorecer a algunas especies vegetales y perjudicar a otras, se han observado efectos diversos en la herbivoría a causa de la fragmentación. Por ejemplo, puede haber un aumento de abundancia de herbívoros, o formación de agallas que son estructuras que se forman en las plantas como respuesta a la presencia de un organismo extraño, con el propósito de beneficiar a dicho organismo. Aunque también se han documentado casos de disminución de herbívoros y se han documentado tanto casos de aumento de área vegetal consumida por herbívoros como una disminución dependiendo del sistema de estudio (Del Val & Boege, 2012).

Los polinizadores tienen diferencias en sus rasgos ecológicos que pueden hacer que sean más o menos susceptibles a la fragmentación del hábitat. La especialización en el recurso floral, es decir, la tendencia de algunos polinizadores a alimentarse exclusivamente de ciertas especies de plantas, puede ser un factor importante en su susceptibilidad a la fragmentación. Los polinizadores que son muy especializados son más propensos a sufrir los efectos de la fragmentación, ya que la abundancia, riqueza y/o composición de las especies vegetales tienden a modificarse en los fragmentos. Esto puede hacer que los polinizadores no encuentren suficiente alimento en un hábitat fragmentado y, por lo tanto, tengan problemas para sobrevivir y reproducirse, repercutir directamente en el éxito reproductivo de las plantas (Boreux et al., 2013). Por otro lado, también se han reportado casos con el efecto opuesto, es decir, que el éxito reproductivo de una especie, en ciertas condiciones, se ve favorecido por la fragmentación, aunque muchas veces depende de la composición de la matriz (Van

Rossum et al., 2006). Por ejemplo, algunos anfibios son más abundantes y diversos cerca de cafetales que cerca de cultivos de maíz (Santos-Barrera, Georgina; Urbina-Cardona & The, 2011) y algunas plantas tolerantes a la sombra pueden aumentar sus densidades (Guerrero & Bustamante, 2009).

Fragmentación en los bosques templados mexicanos

En territorio mexicano, los bosques templados ocupan una extensión de 32,330,508 hectáreas, lo que equivale al 17% de la superficie total del país (SEMARNAT, 2009). Su alta riqueza y endemismo lo convierte en uno de los ecosistemas más importantes en el país y en el mundo (Rzedowski, 1991).

Las actividades agrícolas, forestales y pecuarias resultan una gran amenaza para la conservación e integridad funcional de estos ecosistemas (Challenger, 1998). Se calcula que México ha perdido más de la mitad de sus bosques templados (Sánchez et al., 2003). En parte importante del territorio que solían cubrir este tipo de bosques, encontramos un paisaje heterogéneo de remanentes de vegetación en distinto grado de conservación, en conjunto con parcelas agrícolas, urbanizaciones y parcelas ganaderas (García, 2011). Debido a estas modificaciones en el paisaje, algunas especies endémicas o de distribuciones restringidas se encuentran bajo amenaza. Actualmente el 38% de los bosques templados se considera como secundarios, mientras que solo el 61% como bosques conservados (CONABIO, 2021).

Por otro lado, en los bosques templados de México, se encuentran numerosas especies que tienen un alto valor en términos de alimentación, ornamentación, propiedades medicinales y significado cultural. Un ejemplo de ello es el tejocote, representado por las especies de

Crataegus spp. (Borys & Leszczyńska-Borys, 1994; Núñez-Colín et al., 2008; C. A. Núñez-Colín & Sánchez-Vidaña, 2011; Salmerón Carlos, 2016). México es un país con una alta diversidad tanto biológica como cultural, con más de 60 grupos indígenas que han tenido un papel importante en la domesticación de diversas especies a lo largo de la historia. Esto ha llevado a la formación de nuevas variedades de plantas (Sánchez et al., 2003). Resulta de suma importancia conservar tanto estas variedades domesticadas como sus parientes silvestres debido a la estrecha relación entre la biodiversidad y la sociedad humana (Sánchez et al., 2003).

En México “tejocote” es el nombre con el que comúnmente se les conoce a las especies del género *Crataegus*. El tejocote es una angiosperma de la familia Rosaceae asociada al bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña y bosque tropical subcaducifolio cuya zona de distribución estimada en México recorre las zonas montañosas de la Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur (Núñez-Colín et al., 2008).

En México, se puede encontrar de forma silvestre, o con diferentes niveles de manejo que van desde la recolección simple y la tolerancia (Salmerón Carlos, 2016) hasta la inducción (Blancas et al., 2016) y ha experimentado el impacto de estos cambios globales (Núñez-Colín et al., 2008; Carlos A. Núñez-Colín, 2009). Actualmente, el tejocote se maneja de diferentes formas, desde plantaciones medianas hasta su siembra en jardines y patios traseros de las casas de las comunidades (Núñez-Colín & Sánchez-Vidaña, 2011). El principal uso del tejocote es como planta base para injerto de otros árboles frutales de la misma familia (Nieto-Ángel & Borys, 1999) y consumo directo; así como en piñatas y en el tradicional ponche mexicano (Núñez-Colín, 2009).

La principal entidad que produce tejocote es el estado de Puebla. Sin embargo, también se recolecta de jardines de traspatio y de árboles silvestres, aunque este tipo de producción de tejocote no es considerada en el anuario estadístico de producción agrícola del Servicio de Información Alimentaria y Pesquera (SIAP, 2018), a pesar de que los frutales nativos resultan importantes por su variabilidad fenotípica (Farfán et al., 2007; C. A. Núñez-Colín & Sánchez-Vidaña, 2011).

En el caso de Ihuatzio, Michoacán, nuestro lugar de estudio, y a pesar de que aún subsisten otros usos, los frutos se recolectaban de árboles silvestres o tolerados, actividad que ha disminuido o casi desaparecido y se ha observado una disminución en la producción de sus frutos y aumento en los niveles de daño por herbívoros y de la planta hemiparásita *Psittacanthus calyculatus* Lorantaceae. En las últimas décadas, se ha podido observar una disminución de las poblaciones silvestres de tejocote, lo que representa un cambio evidente en sus procesos demográficos y ecológicos (Observación personal).

Ihuatzio es una comunidad Purhépecha que no ha dejado de lado su organización por usos y costumbres. La compra-venta de alimentos en los pueblos y ciudades cercanas a la región, y el consumo de recursos silvestres son una importante fuente de ingresos económicos y alimento para un gran porcentaje de la comunidad, la cual es determinada en gran parte por la producción de frutos y plantas de temporada. El tejocote fue por mucho tiempo una fuente de alimento para las personas de la localidad. Por esto es de suma importancia estudiar esta especie, conocer sobre las especies con las que interactúa y describir a sus enemigos naturales para poder plantear posibles alternativas de aprovechamiento, cuidado y conservación de este fruto.

En este contexto, es fundamental comprender cómo las interacciones bióticas se ven afectadas por factores naturales y antropogénicos, ya que esto puede tener repercusiones significativas en la salud de los ecosistemas y las poblaciones de las especies involucradas. En particular (Langmaier & Lapin, 2020) reporta problemas con la regeneración de las plantas de tejocote. Además, el uso de especies silvestres para consumo local y venta regional es beneficioso para el desarrollo rural sostenible y la autosuficiencia local y regional (Toledo & Barrera-Bassols, 1984).

Por estos motivos, resulta fundamental investigar los patrones ecológicos de las poblaciones de especies útiles, como el tejocote, y comprender también a las especies asociadas. Por lo tanto, el propósito de este trabajo fue evaluar el estado de salud de las poblaciones de *Crataegus mexicana* en hábitats con distinto grado de perturbación considerando el daño por herbívoros, la presencia de plantas hemiparásitas y la producción de frutos en la comunidad de Ihuatzio, Michoacán. *Crataegus mexicana* ha mostrado cierta resistencia a sobrevivir en algunos sitios perturbados por lo que consideramos importante estudiar su desempeño frente a distintas condiciones, así como sus interacciones. Partiendo de la hipótesis de que existe una correlación entre el nivel de incidencia de enemigos naturales y el desempeño de *C. mexicana* en el gradiente de cobertura de bosque en Ihuatzio, Michoacán, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el estado de salud de árboles de *Crataegus mexicana* y su asociación con invertebrados y plantas hemiparásitas (*Psittacanthus calyculatus*) en un gradiente de cobertura de bosque en la comunidad de Ihuatzio, Michoacán.

Objetivos específicos

- 1.- Describir a los enemigos naturales (herbívoros y plantas hemiparásitas) de *C. mexicana* en sitios con diferente cobertura de bosque.
- 2.-Evaluar las condiciones ambientales en sitios con diferente cobertura de bosque.
- 3.-Evaluar la salud de los árboles de tejocote en sitios con diferente cobertura de bosque.
- 4.-Analizar si existe una correlación entre la incidencia de enemigos naturales (plantas hemiparásitas y herbívoros) de *C. mexicana* y la cobertura de bosque circundante.

Metodología

Especie de estudio

El género *Crataegus* está constituido por más de 1200 especies en todo el mundo (Cervantes-Paz et al., 2018; Dönmez, 2004). En México podemos encontrar 15 de estas especies de las cuales nueve son endémicas (Núñez-Colín et al., 2008). En el país se le conoce como tejocote a todas las especies del género *Crataegus*. También le llaman manzanilla o manzanita, karhasi, entre otros (Phipps et al., 2003; Salmerón Carlos, 2016).

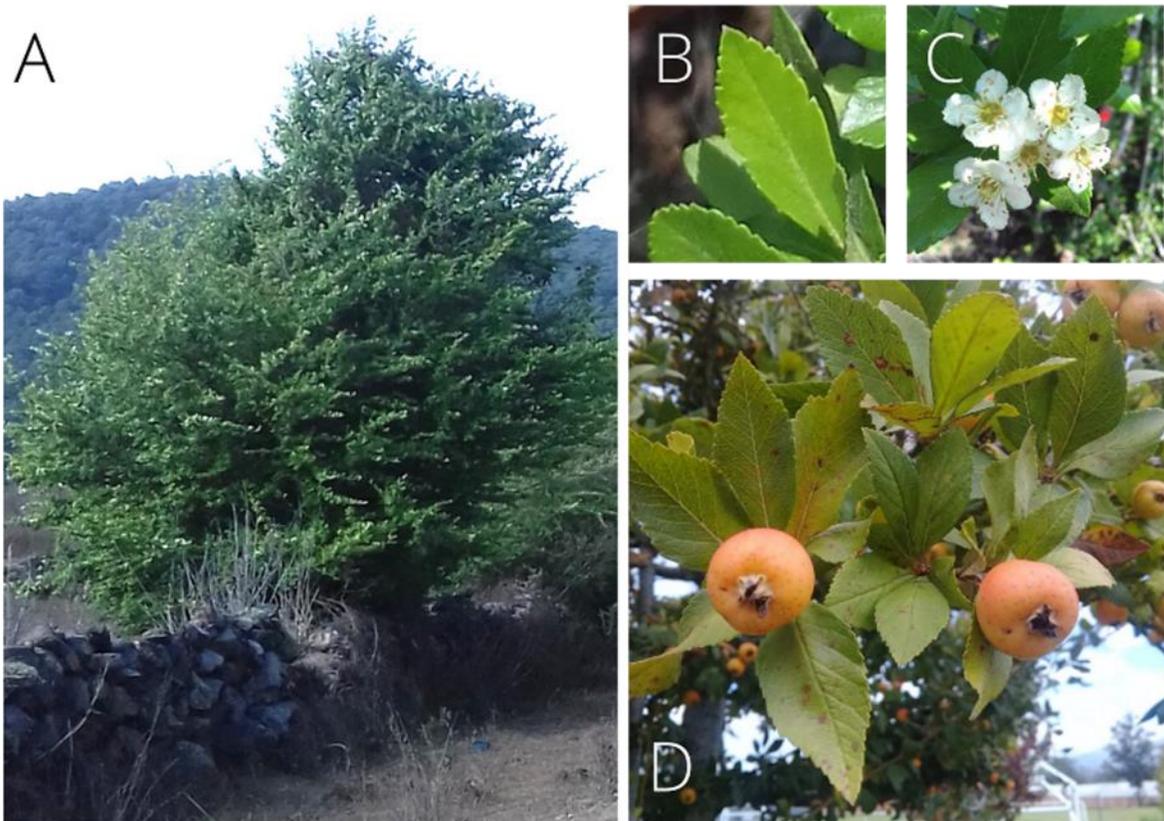


Figura 1. *Crataegus mexicana*. A) Árbol. B) Hoja. C) Flor. D) Fruto.

Distribución

El género *Crataegus* se encuentra de forma natural únicamente en el hemisferio Norte. Entre las 15 especies de tejocotes presentes en México, la más reconocida y ampliamente distribuida es *Crataegus mexicana* DC., la cual también se encuentra de forma silvestre o tolerada y es la única del género que se cultiva en el país (Blancas et al., 2016; INECOL, n.d.; Núñez Colín & Hernández Martínez, 2011).

En México, la especie *Crataegus mexicana* se distribuye principalmente en zonas montañosas como la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y la Faja Volcánica Transmexicana. Esta última región alberga a los productores más

importantes del tejocote. La especie se puede encontrar en altitudes que van desde los 1200 hasta los 3000 metros sobre el nivel del mar, y su área de distribución se extiende hasta Centroamérica (Núñez-Colín et al., 2008; SIAP, 2018). Además de México, el tejocote también es cultivado en otros países como Guatemala, Honduras, Costa Rica, California, Arizona, Sudáfrica y regiones de los Andes, desde Perú hasta Ecuador (Núñez-Colín et al., 2012).



Figura 2. Distribución geográfica de *Crataegus mexicana* en México (Núñez-Colín et al., 2012).

De los cultivos importantes en el país de la familia Rosaceae, el tejocote, es el único nativo de México (SAGARPA 2008 citado en Núñez-Colín & Sánchez-Vidaña, 2011).

Sin embargo, parte de la producción de *C. mexicana* que no aparece en los registros nacionales, es recolectada de árboles silvestres. Una fracción de esta producción es consumida y otra es comerciada de manera local en algunas regiones. (Farfán et al., 2007). Aunque crecen en bosque de pino y encino, se adaptan muy bien a sitios perturbados por lo que los tejocotes tiene gran potencial para la restauración de áreas verdes en zonas urbanas (Borys & Leszczyńska-Borys, 1994; Flores et al., 2018).

Núñez-Colín et al., (2012) predicen que el cambio climático aumentará las zonas ecológicas donde se podrá desarrollar *C. mexicana*, lo que podría incrementar las zonas de cultivo para 2050.

Características del tejocote

Es un árbol caducifolio perteneciente a la familia Rosaceae. Llega a medir hasta 10 metros de altura. Sus hojas son simples y alternas en forma romboide-elípticas o lanceoladas, borde aserrado, ápice agudo y con base cuneada pubescente. Presenta flores en corimbos terminales de cinco pétalos, blancas, amarillas o rosadas. La floración suele darse en primavera y ofrece una excepcional experiencia visual. Los frutos se encuentran en pomo redondo, en tonos naranjas, amarillo y rojos (Borys & Leszczyńska-Borys, 1994; Conabio, n.d.; Pérez-Olvera et al., 2008) (Figura 1). En Chiapas, algunos tejocotes son rojos de apariencia y sabor parecido a la manzana diferente al del tejocote naranja más conocido en el centro de México, razón por la que se le conoce también como manzanita o manzanilla(o) (Borys & Leszczyńska-Borys, 1994).

Crataegus spp. se produce comercialmente en los estados de Chiapas, Estado de México, Jalisco, Oaxaca, Zacatecas, Tlaxcala y Puebla, siendo este el mayor productor.

En 2019, se reportó una superficie sembrada de 927 hectáreas, con una producción de 5 mil 521 toneladas (SIAP, 2019). Aunque no se registran cultivos de tejocote en Michoacán, los frutos silvestres y de traspatio se consumen comúnmente en el estado. No se tienen datos precisos sobre la cantidad de tal producción y consumo, sin embargo, Farfán et. al. estima que en el municipio de Zitácuaro se producen alrededor de 34.18 toneladas anuales, las cuales no se encuentran en los registros oficiales (Farfán et al., 2007). Esta práctica también se evidencia en la zona del Lago de Pátzcuaro (obs. Personal).



Figura 3. Cerca viva de *Crataegus mexicana* en Ihuatzio, Michoacán. Fotografía propia.

Usos del tejocote

Es considerado de gran valor ornamental, frutícola, medicinal y ecológico y es ampliamente usado como portainjerto para otras especies de la familia Rosaceae (Borys & Leszczyńska-Borys, 1994) y como cercas vivas (Figura 3). Algunas especies de *Crataegus* son usadas en Canadá y Norte América en parques y jardines por el bello color de su follaje (Núñez-Colín, 2009). También esta planta está fuertemente ligada a la cultura mexicana por ser usado en los altares de día de muertos, en el ponche y demás festividades navideñas (Borys & Leszczyńska-Borys, 1994; C. A. Núñez-Colín & Sánchez-Vidaña, 2011). Particularmente en Ihuatzio también se usa en rituales religiosos el día de *Corpus Cristi* (obs. Personal).



Figura 4. Figuras religiosas acompañadas de ramas de tejocote decoradas con frutos y pan en la celebración de *Corpus Cristi* en la comunidad de Ihuatzio, Mich. Fotografías de Jennifer Uasís Van.

La raíz, las flores, las hojas y los frutos de *C. mexicana* han sido usados ampliamente en la medicina tradicional para padecimientos como la diabetes mellitus, problemas de riñón, tos y enfermedades cardiovasculares. (Núñez Colín & Hernández Martínez, 2011). En años recientes, se ha incrementado el interés en estos efectos medicinales de los cuales la mayoría de sus beneficios a la salud humana se le atribuyen a los compuestos fenólicos, metabolitos secundarios de las plantas usados como mecanismos de defensa contra enfermedades (Cervantes-Paz et al., 2018). En la industria alimenticia también es utilizado debido a su alto contenido de pectinas por ejemplo para la fabricación de ates. También es apreciado por su contenido de vitaminas y minerales (Carlos A. Núñez-Colín, 2009).

Sitio de estudio

Opté por esta comunidad como mi área de estudio debido a mi origen en Ihuatzio, lo que me proporcionó un acceso a los lugares de investigación sin complicaciones y facilitó la interacción con los miembros de la comunidad, evitando posibles obstáculos. Además, en esta región, a pesar de que sus poblaciones han disminuido (Obs. Personal) en general, abundan los tejocotes y son una especie importante para las personas que habitan la comunidad.

Ihuatzio, perteneciente al municipio de Tzintzuntzan, está ubicado al norte del estado de Michoacán a 65 kilómetros de la ciudad de Pátzcuaro (19°34'3.06"N y 101°36'50.37"O). Se encuentra a una elevación promedio de 2100 msnm. Predomina un clima templado de montaña con una temperatura media anual de 16.7°C y una precipitación anual promedio de 834.3 mm. Es posible diferenciar una temporada de lluvias que comienza entre mayo y junio y concluye entre septiembre y octubre. Este poblado presenta un paisaje variado, por un lado, zonas de bosque mixto de pino-encino y zonas de pastizal, y por otro lado una zona de

transición rural-urbana adyacente al Lago de Pátzcuaro (Servicio Meteorológico Nacional, 2017)

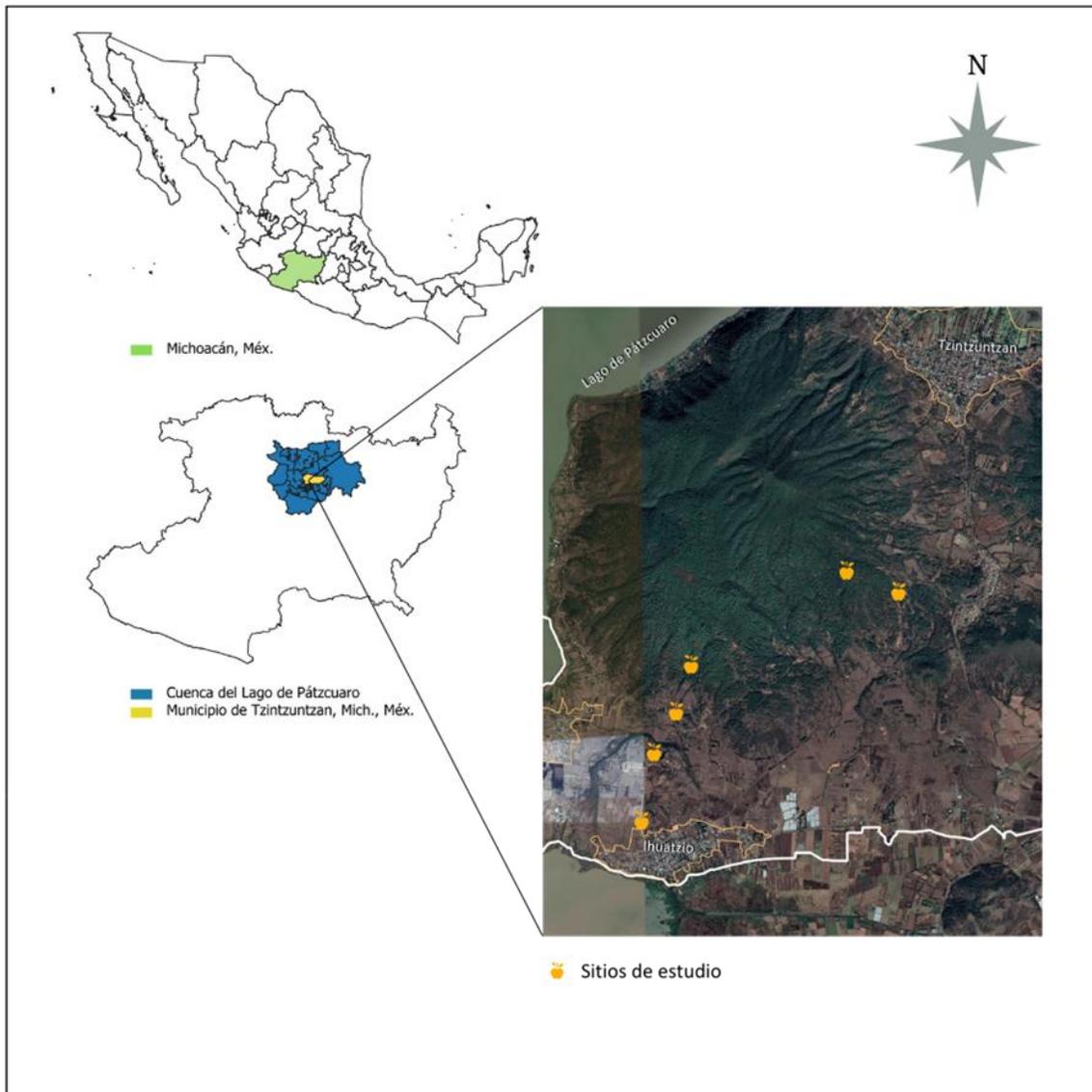


Figura 5. Mapa de localización área de estudio. Ihuatzio, Mich., Méx. Elaborado en QGIS 3.28 (QGIS, 2023) utilizando información de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapa Digital de México, 2021) y Google Earth (Google LLC., 2021)

Este estudio se llevó a cabo de enero a diciembre de 2018. Se seleccionaron seis sitios con la presencia de *C. mexicana* con al menos un kilómetro de distancia entre sitios. Los sitios se seleccionaron considerando la cobertura del dosel visualmente de imágenes satelitales tomadas de Google LLC., 2021. Se dos sitios con una cobertura de bosque mayor al 75%, dos con una cobertura de bosque entre el 50 y el 75% y dos más con cobertura de bosque menor al 50% (Figura 7).

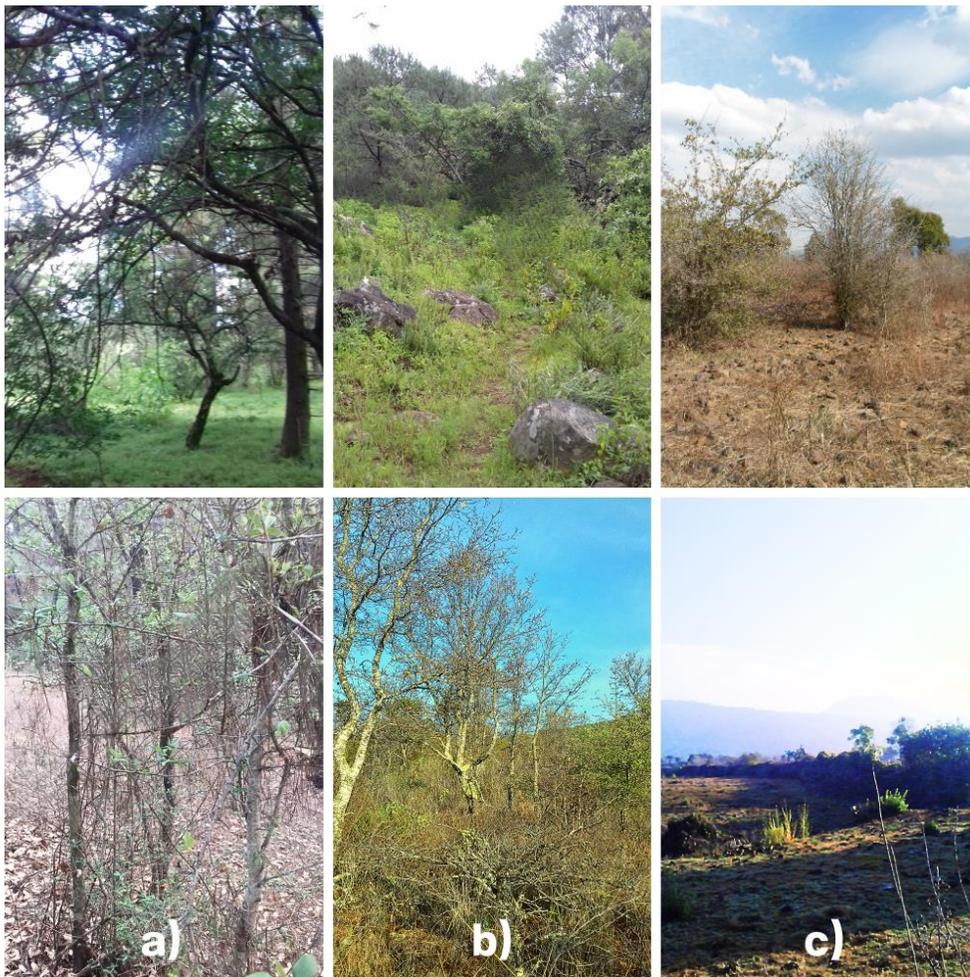


Figura 6. Sitios de estudio. a) Cobertura de bosque mayor a 75%. b) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. c) Cobertura de bosque menor al 50%.



Figura 7. Categorías por porcentaje de cobertura de bosque. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

En cada sitio se seleccionaron al azar 10 árboles focales de *C. mexicana* en un área de 1ha, se tuvo un total de 60 árboles focales, 20 individuos por categoría de bosque. Los árboles se seleccionaron pretendiendo que se encontrarán en sitios de poco o nulo manejo. En los sitios con una cobertura boscosa superior al 75%, se observaba un dominio de árboles de encino (*Quercus spp.*) y pinos (*Pinus spp.*) con presencia abundante de cedros (*Cupressus spp.*) y algunos Madroños (*Arbutus spp.*). En aquellos con una cobertura boscosa que oscilaba entre el 50% y el 75%, los encinos eran dominantes con presencia de algunos cedros y pinos, mientras que en los sitios con menos del 50% de cobertura boscosa, predominaban principalmente los pastizales y Eucaliptos (*Eucalyptus spp.*)

Condiciones ambientales

Además de la cobertura estimada para cada sitio, para caracterizar las condiciones ambientales, se registró la temperatura y humedad relativa por medio de un registrador automático de variables microclimáticas (LASCAR EL-USB-2), los medidores se programaron para tomar un registro cada 30 minutos. Se obtuvieron los datos de febrero de 2018 a enero de 2019.

Para analizar los datos, se calcularon las medias de los valores mínimos, promedios y máximos de temperatura y humedad relativa diaria registrados por los medidores de condiciones microclimáticas.

Muestreo de invertebrados

En cada sitio seleccionado, se realizaron cuatro muestreos de invertebrados en 10 individuos de *C. mexicana* en los meses de abril, julio, septiembre y noviembre de 2018. Utilizando la técnica de golpeo y un paraguas entomológico de un metro cuadrado, se capturaron todos los invertebrados asociados a los árboles focales. Cada árbol se golpeó durante 60 segundos y se colectó la muestra con una sobrilla entomológica de un metro cuadrado. Se repitió el proceso en los cuatro puntos cardinales del árbol y se reunieron las cuatro muestras por árbol en un frasco con alcohol al 70%, para obtener invertebrados de toda la copa. Este proceso se repitió en los 4 meses de muestreo obteniendo así 240 muestras. Las muestras se llevaron al laboratorio para su posterior limpieza y separación. En el laboratorio se revisaron las muestras, se separaron los individuos de cada muestra por orden taxonómico, usando las claves para Órdenes de Artrópodos (Triplehorn & Johnson, 2005) y se cuantificaron las abundancias de cada orden por árbol, por mes de muestreo y por sitio. Además los

invertebrados colectados se identificaron por gremio trófico, y en particular se evaluó si la incidencia de herbívoros estaba relacionada con el daño foliar observado.

Evaluación de la herbivoría

Para estimar el daño por los herbívoros sobre *C. mexicana* en los meses de abril, julio y noviembre de 2018, se colectaron 10 hojas al azar por planta por sitio y se clasificaron en cinco categorías de daño según lo propuesto por Domínguez y Dirzo (1995): Categoría 0, sin daño foliar; Categoría 1 daño foliar menor a 6%; Categoría 2 daño foliar entre 6% -12%; Categoría 3 daño foliar entre 12% -25%; Categoría 4 daño foliar entre 25% y 50% y Categoría 5 daño foliar mayor a 50% (Figura 8).

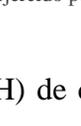
CATEGORÍA	% FOLIAR REMOVIDA	ÁREA	
0	0		
1	0-6 %		
2	6-12 %		
3	12-25 %		
4	25-50 %		
5	50-100 %		

Figura 8. Categorías de daño considerando el porcentaje de daño foliar ejercido por herbívoros.

Posteriormente se calculó el índice de herbivoría (IH) de cada árbol, considerando las 10 hojas colectadas de cada planta y utilizando la siguiente fórmula:

$$HI = \frac{\sum ni * Ci}{N}$$

Donde i representa la categoría de daño, ni al número de hojas en la i -ésima categoría de daño, C_i indica el punto medio de cada categoría (por ejemplo, $C_1 = 3.5\%$, $C_2 = 9.0\%$, $C_3 = 18.5\%$, $C_4 = 37.5\%$, $C_5 = 75.0\%$), y N representa el total de hojas en la planta (Benítez-Malvido & Kossmann-Ferraz, 1999; Dirzo & Domínguez, 1995).

Incidencia de la planta hemiparásita *Psittacanthus calyculatus*

Para evaluar la incidencia de la planta hemiparásita *Psittacanthus calyculatus* sobre *C. mexicana*, cada uno de los árboles focales fue analizado visualmente y se le asignó una categoría de infestación. Se tomaron como guía las siguientes categorías: Categoría 0, sin incidencia visible de planta hemiparásita; Categoría 1 incidencia entre 1% y 6%; Categoría 2 incidencia entre 6% y 12%; Categoría 3 incidencia entre 12% y 25%; Categoría 4 incidencia entre 25% y 50% y Categoría 5 incidencia mayor a 50% (Figura 9).



Figura 9. Categorías por porcentaje de incidencia de planta hemiparásita *P. calyculatus* en la copa de *C. mexicana*.

Calculamos la incidencia de planta hemiparásita IPH en cada árbol, utilizando la fórmula:

$$IPH = i * Ci$$

Donde *i* representa la categoría de daño y *Ci* indica el punto medio de cada categoría (por ejemplo, C1 = 3.5%, C2 = 9.0%, C3 = 18.5%, C4 = 37.5%, C5 = 75.0%).(Benítez-Malvido & Kossmann-Ferraz, 1999; Dirzo & Domínguez, 1995).

Evaluación de desempeño de *Crataegus mexicana*.

Para evaluar el desempeño de los árboles se midió la altura y la cobertura del dosel de cada individuo en el mes de abril. Para evaluar el éxito reproductivo de *C. mexicana*, se seleccionaron al azar 10 ramas de cada planta y se marcaron. Más tarde se cuantificó el número de flores producidas en el mes de marzo y la producción de frutos, es decir el número de frutos producidos, en el mes de noviembre de las mismas ramas. Con estos datos de estimó el "Fruit set" (del inglés), que es la proporción de frutos producidos en relación con la cantidad de flores.

Para evaluar si existían diferencias en las condiciones ambientales de los sitios estudiados, se realizó un análisis de varianza para determinar si había relación con la cobertura de bosque circundante (CBC).

Análisis estadísticos

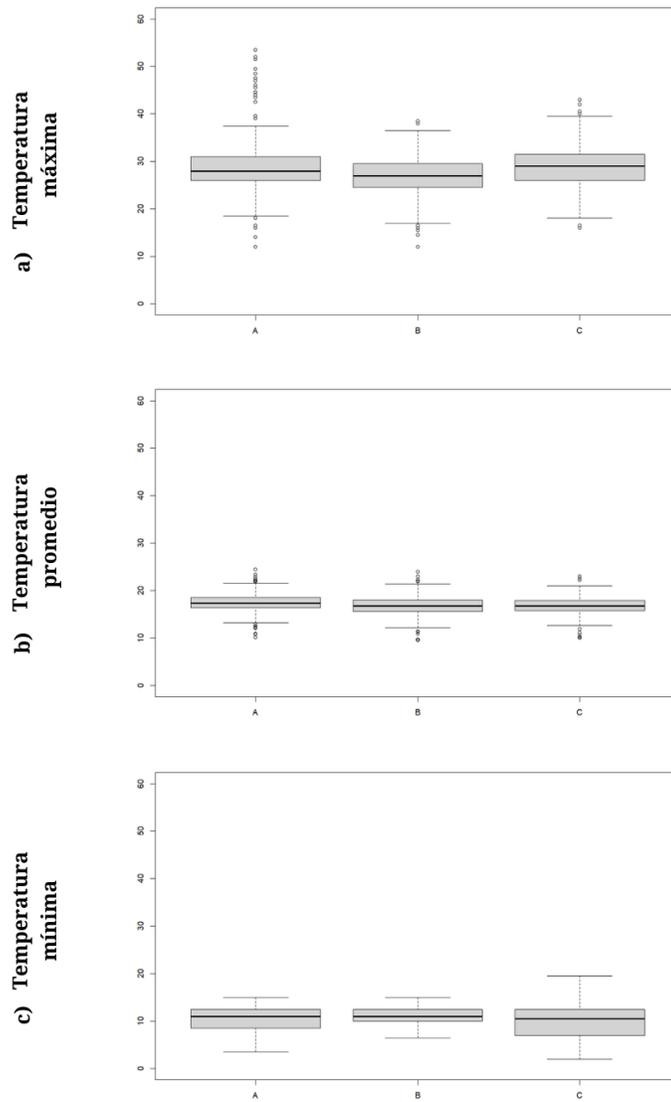
Para la comunidad de invertebrados asociados a los árboles de *C. mexicana*, se analizaron las similitudes entre las comunidades por categoría de cobertura de bosque (CBC) y por fechas de muestreo usando modelos de escalamiento multidimensional no métrico NMDS (Nonmetrical Multi Dimensional Scaling).

Además, se realizaron análisis de varianza para evaluar si existían diferencias entre los niveles de herbivoría, la abundancia de herbívoros, la incidencia de *P. calyculatus*, la producción de flores, la producción de frutos y el fruit set con respecto a los niveles de cobertura de bosque circundante (CBC). En cada caso se revisó que se cumpliera con los principios de homocedasticidad de varianza y normalidad de los errores, en caso de no cumplirse se realizaron transformaciones de los datos con logaritmo o raíz cuadrada. Todos los análisis estadísticos se realizaron con ayuda del software R versión 2.14.0 (R Development Core Team, 2011).

Resultados

Condiciones ambientales

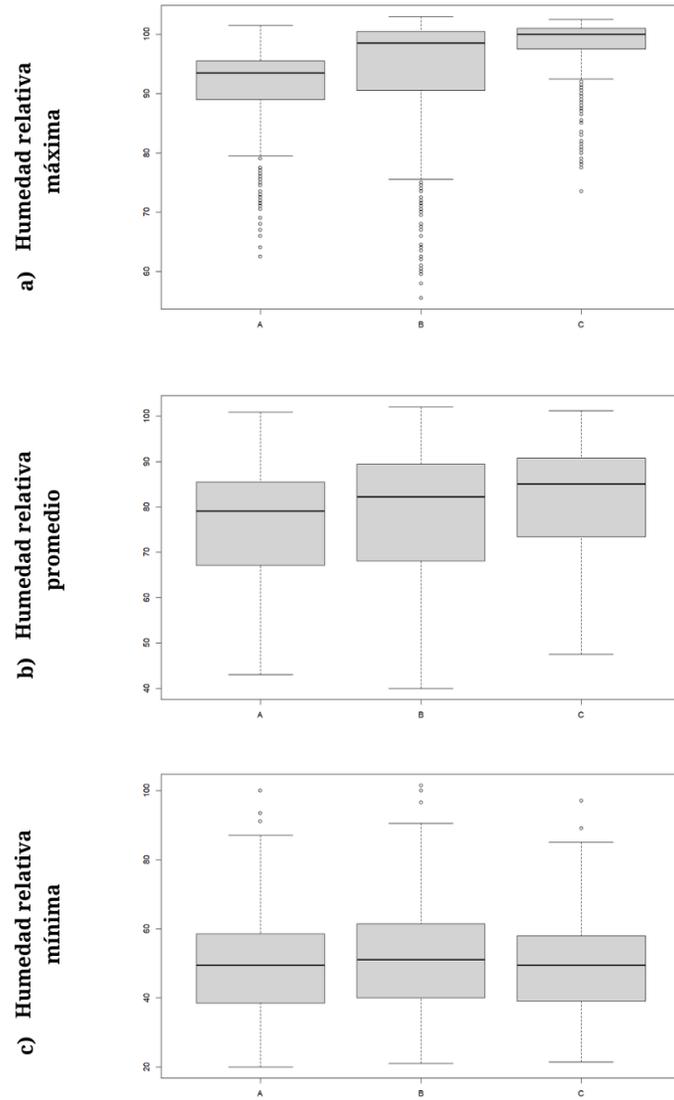
Los resultados del análisis de las condiciones ambientales (mínima, máxima y promedios diarios) en los diferentes sitios estudiados mostraron que no existen diferencias significativas en las temperaturas que experimentan los árboles en los diferentes lugares ($p > 0.05$, Figura 8). Sin embargo, la humedad relativa máxima mostró diferencias entre coberturas de bosque ($F_{(1,2)} = 13.81$, $p = 0.037$), la humedad relativa máxima aumentó conforme la cobertura de bosque fue menor (Figura 11).

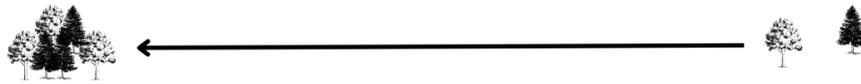


←—————→

Cobertura de bosque circundante

Figura 10. Temperatura en relación con la cobertura de bosque circundante. a) Temperatura máxima. b) Temperatura promedio. c) Temperatura mínima. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.





Cobertura de bosque circundante

Figura 11. Condiciones de humedad ambiental con respecto a la cobertura de bosque circundante. a) Humedad relativa máxima. b) Humedad relativa promedio. c) Humedad relativa mínima. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

Invertebrados

Se colectaron un total de 58,656 individuos pertenecientes a 18 órdenes (Ver Tabla1). Los órdenes Acari y Collembola fueron los que presentaron mayor abundancia; 32,663 y 12,873 individuos respectivamente. El mes que presentó mayor abundancia fue julio con 29,403 individuos. Por otro lado, abril con 945 individuos, fue el mes con la menor abundancia. Lo que concuerda con los periodos de lluvia y secas respectivamente.

ORDEN	ABUNDANCIA TOTAL
ACARI	32663
COLLEMBOLA	12873
ARANEAE	3010
PSOCOPTERA	2078
HEMIPTERA	1909
GASTEROPODA	1617
COLEOPTERA	1212
LEPIDOPTERA (LARVAS)	669
DIPTERA	535
COLEOPTERA (LARVAS)	514
HYMENOPTERA	405
THYSANOPTERA	354
ORTHOPTERA	262
NEUROPTERA (LARVAS)	122
DERMAPTERA	60
DIPTERA (LARVAS)	27
HYMENOPTERA (LARVAS)	27
PSEUDOESCORPION	16
LEPIDOPTERA	13
NEUROPTERA	8
PHASMATIDAE	3
OPILION	3
BLATODEA	1

Tabla1. Abundancia total de invertebrados con respecto a los diferentes Órdenes.

Los resultados del análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) nos permitieron observar una clara diferencia entre el mes de abril y el resto de los meses de muestreo con respecto a las comunidades de invertebrados (NMDS, Dimensions=4 Stress=0.007 Ver Figura 13).

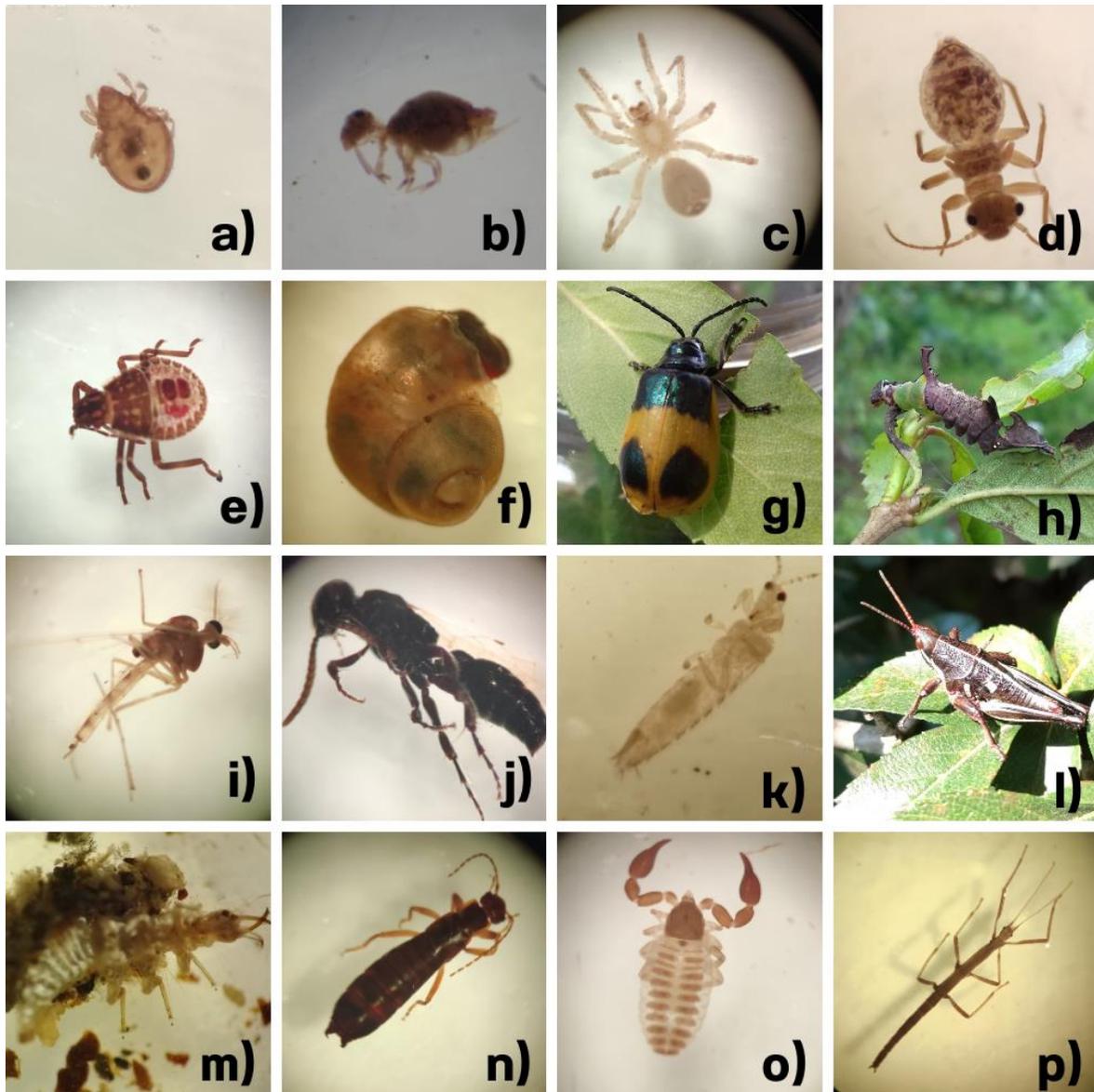


Figura 12. Atrópodos encontrados en los árboles de tejocote pertenecientes a los órdenes de: a) Acari, b)Collembola, c)Araneae, d) Psocoptera, e) Hemiptera, f) Gasteropoda, g) Coleoptera, h) Lepidoptera, i) Diptera, j) Hymenoptera, k) Thysanoptera, l) Orthoptera, m) Neuroptera, n) Dermaptera, o) Pseudoescorpion y p) Phasmatidae.

Las comunidades de julio, septiembre y noviembre fueron silmiliares entre sí probablemente debido a que abril corresponde a la temporada de secas mientras que el resto de los muestreos corresponden a las lluvias. Por otro lado, no hubo diferencias significativas entre las comunidades con diferentes coberturas de bosque.

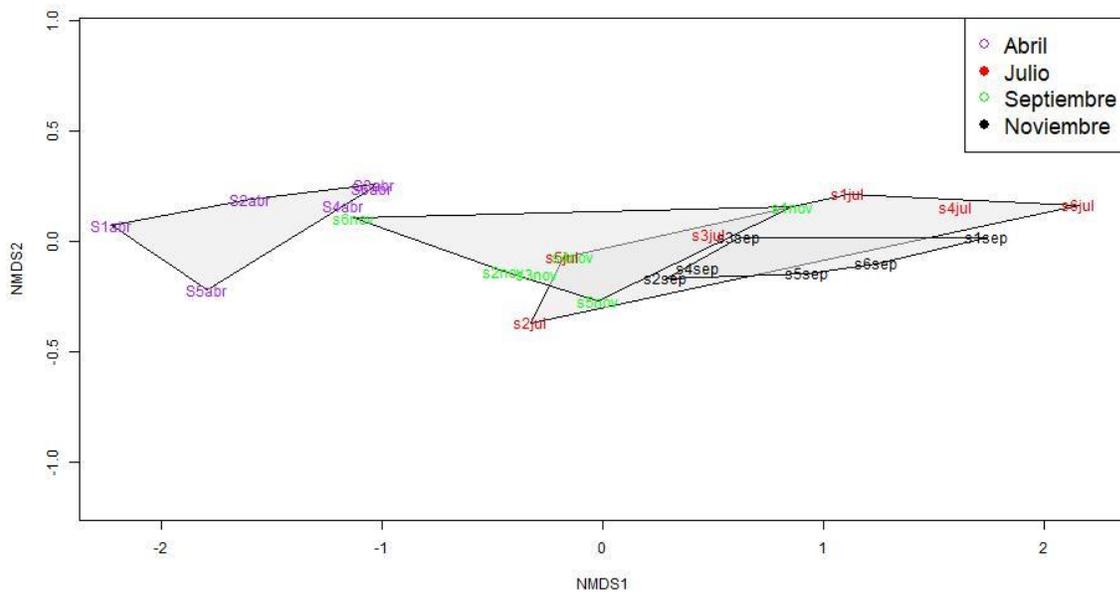


Figura 13. Agrupación de las comunidades de invertebrados evaluada por fecha de muestreo mediante un análisis NMDS.

Herbívoros

La abundancia de herbívoros del mes abril parece ser menor a las abundancias de julio, septiembre y noviembre lo que coincidiría con la temporada de lluvias, en la que las condiciones permiten una mayor proliferación de herbívoros al haber mayor cantidad de follaje, no sólo de *C. mexicana*, si no de plantas en general (Figura 11). Sin embargo, al analizar las abundancias de los invertebrados pertenecientes al gremio de los herbívoros: Coleoptera (larvas), Gasteropoda, Lepidoptera (larvas), Orthoptera y Phasmatidae, no se encontraron diferencias significativas entre las fechas de muestreo ($F_{(1,4)}=0.034$, $p=0.862$).

Además, tampoco se encontraron diferencias significativas en la abundancia de herbívoros entre sitios con diferente cobertura de bosque circundante ($F_{(2,3)}=0.777$, $p=0.862$).

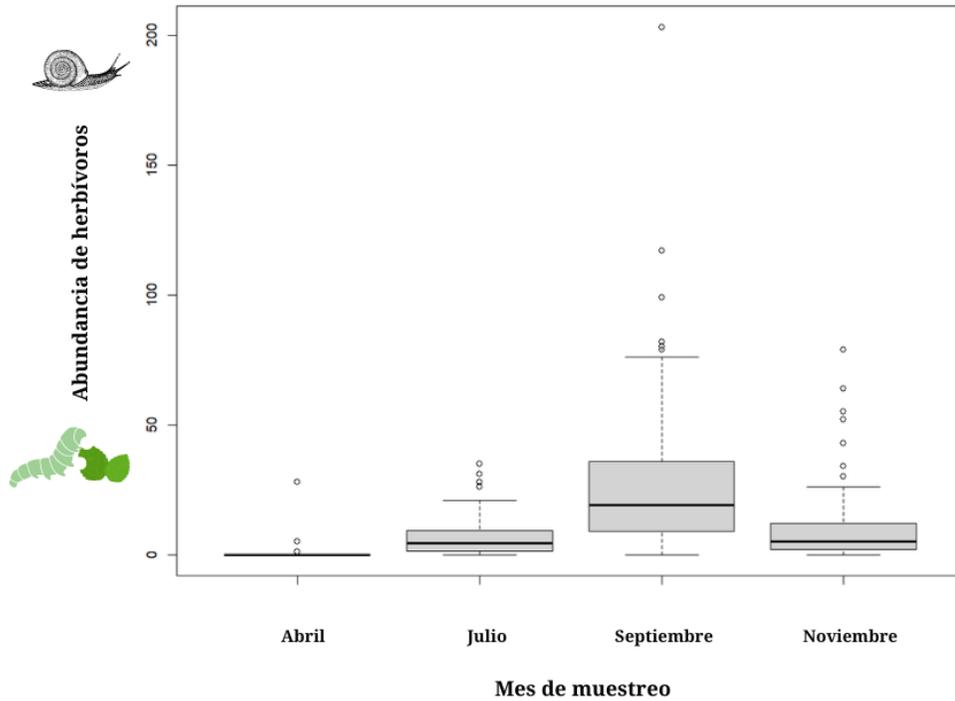


Figura 14. Abundancia de invertebrados herbívoros por mes de muestreo.

Herbivoría

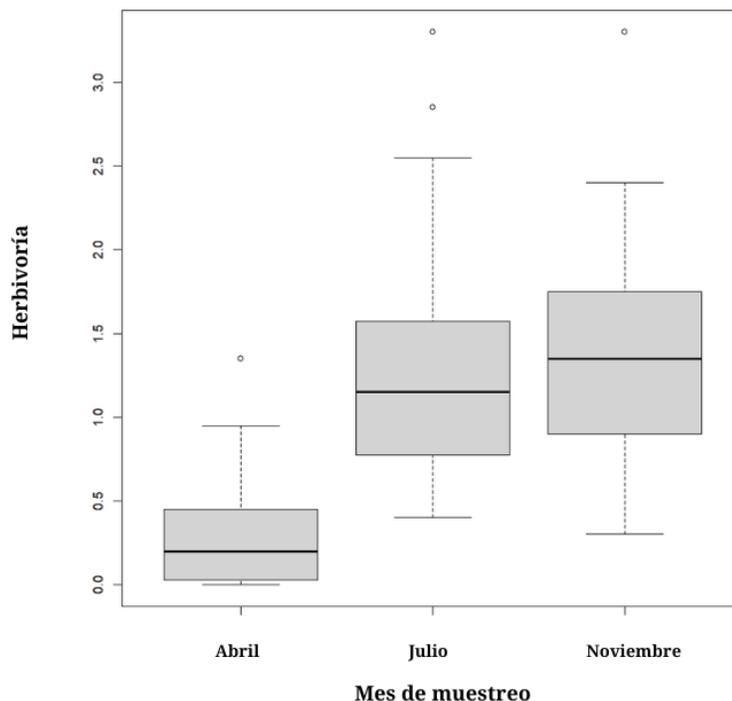


Figura 15. Herbivoría (promedio de categoría de área foliar removida) en relación a la fecha de muestreo.

El daño foliar por herbívoros no fue diferente entre los sitios de muestreo ($F_{(2,3)}=0.218$, $p=0.816$), en promedio las plantas tuvieron un daño foliar de 3 %. Por otro lado, tampoco se observaron diferencias significativas en el daño foliar durante el muestreo ($F_{(2,3)}=5.327$, $p=0.103$), aunque el mes de abril pareciera tener un menor daño foliar en comparación a julio y noviembre, no difirieron entre sí en el análisis estadístico por la gran varianza observada.

Incidencia de la planta hemiparásita *Psittacanthus calyculatus*

El porcentaje de incidencia de planta hemiparásita *Psittacanthus calyculatus* que presentaron los árboles fue del 25%. El porcentaje de la copa de los árboles cubiertos por la planta

hemiparásita fue variable entre 0 y 37%. La cobertura de bosque circundante no mostró un efecto significativo sobre la incidencia de plantas hemiparásitas $F_{(2,3)}=0.141$, $p=0.874$).

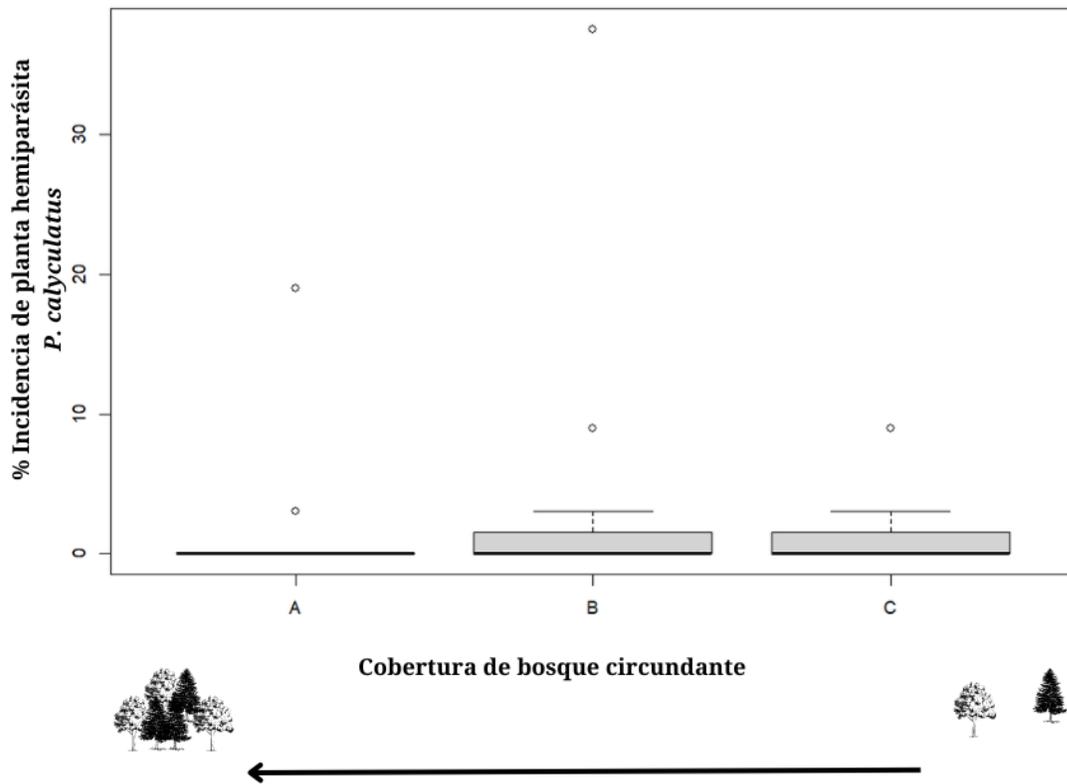


Figura 16. Incidencia de planta hemiparásita *P. calyculatus* en relación a la cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

Desempeño de *Crataegus mexicana*

Respecto al desempeño de los árboles *C. mexicana* no se encontraron diferencias significativas en la cobertura del dosel ($F_{(2,3)}=0.058$, $p=0.994$) y la altura ($F_{(2,3)}=0.427$, $p=0.687$) entre las categorías de bosque, es decir que el bosque circundante no influye significativamente en la altura y cobertura del dosel de los individuos de *C. mexicana* en nuestro sitio de estudio.

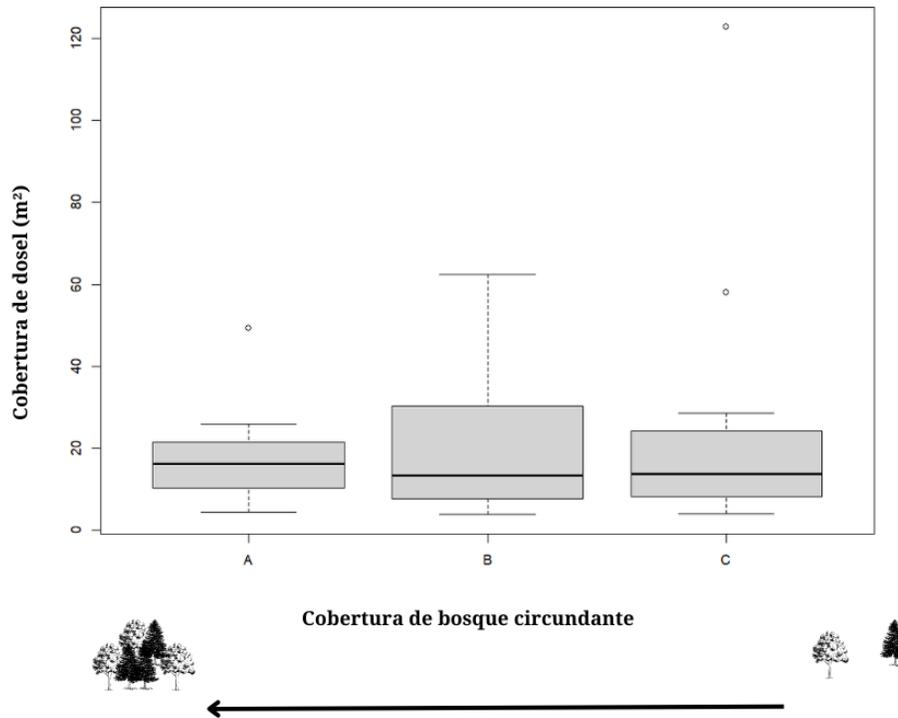


Figura 17. Cobertura del dosel (m²) en relación con la cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

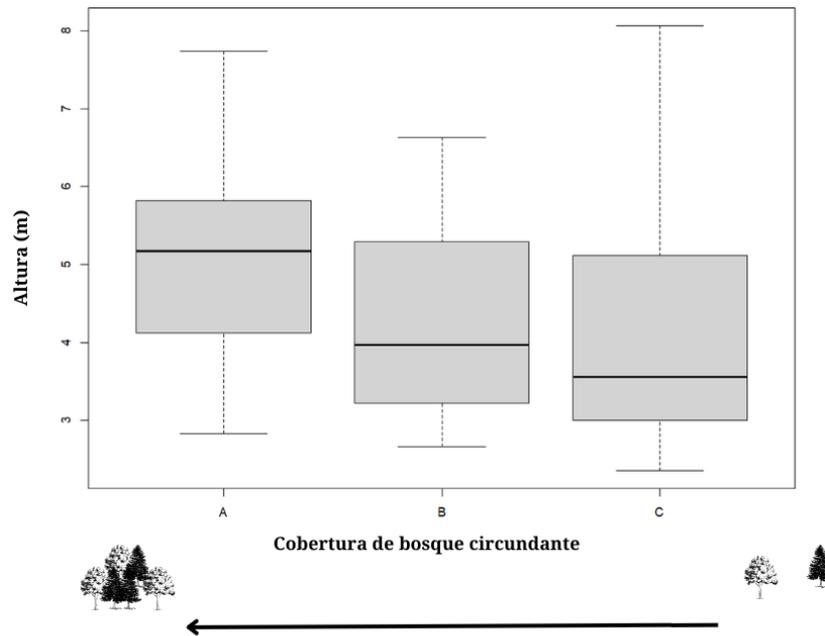


Figura 18. Altura de los individuos (m) en relación con la cobertura del bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

Caracteres reproductivos

Al analizar la producción de flores de los árboles estudiados, no se encontró una relación significativa entre el número de flores y el porcentaje de cobertura de bosque circundante ($F_{(2,3)}= 2.225$, $p=0.256$), ni tampoco entre el "fruit set" y la cobertura de bosque circundante ($F_{(2,3)}= 1.271$, $p=0.398$). Sin embargo, los árboles en sitios más abiertos sí tuvieron una mayor producción de frutos. ($F_{(2,3)}= 15.87$, $p=0.0254$). Cabe resaltar, que no se encontró una relación entre la producción de flores con el "fruit set" (la proporción de flores polinizadas que se convierten en frutos) ($F_{(1,4)}=2.692$, $p=0.176$), pero sí hubo una relación significativa entre la producción de flores y la producción de frutos (el número de frutos totales) ($F_{(1,4)}=15.32$, $p=0.0173$).

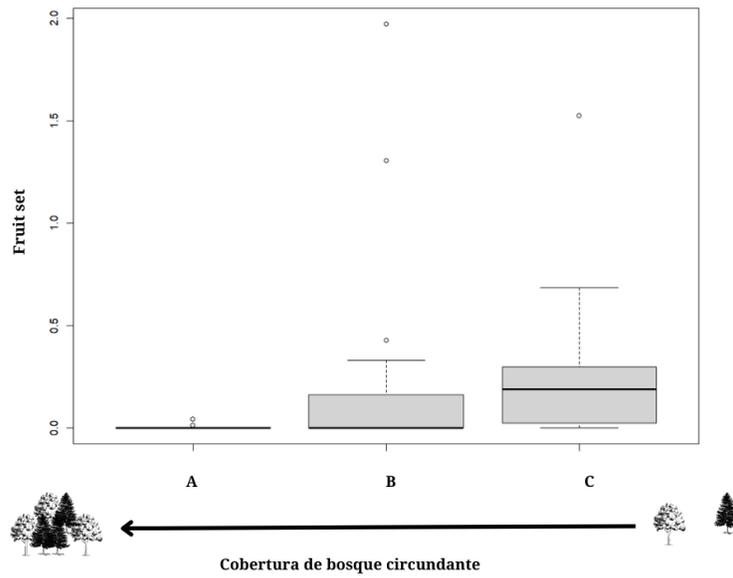


Figura 19. Producción de flores. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

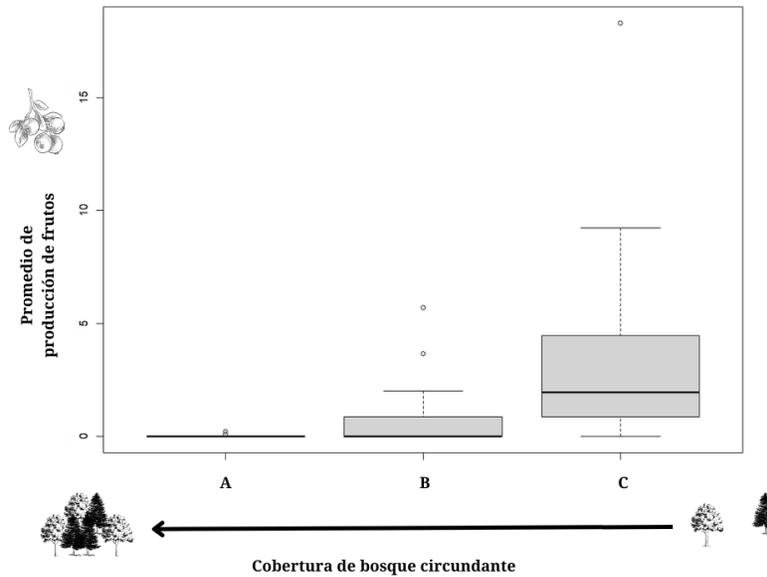


Figura 20. Producción de frutos en relación a la cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

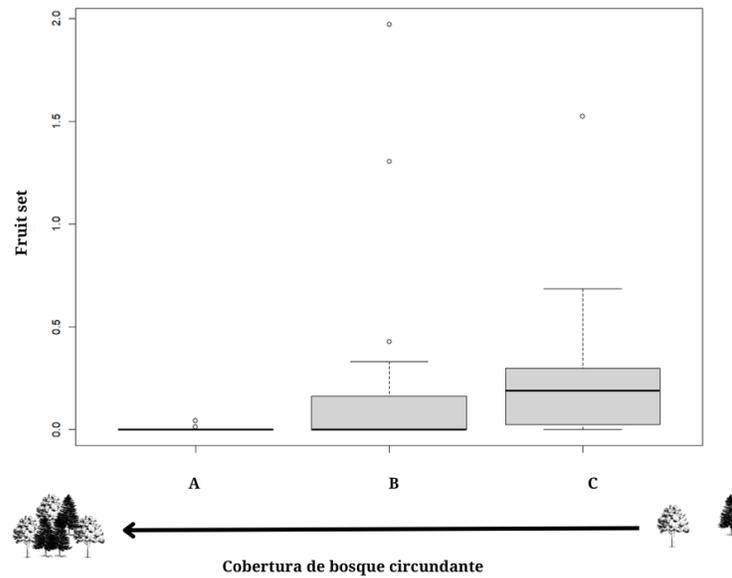


Figura 21. Fruit set de árboles de *C. mexicana* en sitios con diferente cobertura de bosque circundante. A) Cobertura de bosque mayor a 75%. B) Cobertura de bosque entre el 50% y 75%. C) Cobertura de bosque menor al 50%.

Por otro lado, se evaluó si los niveles de herbivoría experimentados por los árboles tenían un efecto sobre el "fruit set". Se encontró que la herbivoría no está afectando directamente el "fruit set" ($F_{(1,4)}=1.006$, $p=0.373$) ni la producción de frutos ($F_{(1,4)}=1.076$, $p=0.358$).

Discusión

Respecto a las condiciones ambientales, no se observaron diferencias significativas de temperatura. Esta variable mostró cambios mínimos entre los distintos tipos de bosque, clasificados según su cobertura de dosel. No obstante, se observó una disminución en la humedad relativa máxima diaria registrada a medida que aumentaba la cobertura del bosque. Por lo tanto, en áreas abiertas, los tejocotes experimentaron niveles de humedad máxima más elevados. Esto sugiere que la presencia de bosque tiene un impacto considerable en la humedad relativa máxima de la región. Contrario a nuestros hallazgos, otros estudios suelen

presentar una relación de humedad relativa positiva con el bosque (Challenger & Soberón, 2008; Chen et al., 1993, 1999; Renaud et al., 2011) ya que los bosques son conocidos por moderar el clima local, por lo general reduciendo la temperatura y la humedad. Sin embargo, esto no siempre es así ya que se ha registrado que también puede encontrarse el patrón contrario (Von Arx et al., 2012). Esto podría ser explicado por varios factores micro climáticos, como el tipo de bosque o la altitud de los sitios. O podría estar respondiendo a los efectos del cambio climático (Aussenac, 2000; Von Arx et al., 2012). Sin embargo, estos factores no fueron explorados en el presente estudio y debieran tomarse en cuenta en futuros proyectos.

Los invertebrados colectados en este trabajo, muestran que Acari y Collembola fueron los órdenes más abundantes, los cuales representaron el 55.68% y 21.94% respectivamente, seguramente debido a la gran cantidad de desechos y hojarasca que se observaron acumulados en dosel y las ramas. Esto es consistente con los reportes frecuentes de Acari y Collembola como grupos dominantes en estudios de artrópodos asociados al dosel de diversas especies vegetales en distintas regiones (Nadkarni & Longino, 1990; Palacios-Vargas et al., 1998; Tovar-Sánchez et al., 2004).

Pudimos observar cómo la abundancia de invertebrados está claramente relacionada con los patrones de lluvias y secas. Julio, mes que corresponde al inicio de la temporada de lluvias en la región, tuvo la mayor cantidad de invertebrados colectados. Este patrón está relacionado con el comienzo de las lluvias que implica una expansión del follaje y por lo tanto las condiciones para una mayor proliferación de herbívoros (Kishimoto-Yamada & Itioka, 2015; Rs et al., 2017). Este patrón también se vio reflejado en el análisis multidimensional no

métrico que muestra una clara diferencia entre las comunidades de invertebrados por fecha de muestreo.

Por otro lado, no se encontraron diferencias en la comunidad de invertebrados entre las categorías de bosque, lo cual sugiere que los sitios muestreados podrían representar un mismo sistema ecológico (Figura 13), es decir, no experimentan condiciones ecológicas y ambientales lo suficientemente diferentes para mostrar un patrón. En concordancia, la relación entre el daño foliar por herbívoros y los sitios con diferentes coberturas de bosque circundante (CBC) tampoco mostraron un patrón, los árboles de tejocote tienen valores de herbivoría similares sin importar el bosque circundante. Por otro lado, el daño foliar por herbívoros no se relacionó con la cantidad de herbívoros y fue independiente de la cantidad de bosque circundante, por lo que es probable que los herbívoros que estén causando el daño en los árboles no fueron muestreados.

Si bien, la descripción de los órdenes encontrados en este estudio contribuye a describir la comunidad de invertebrados asociados a *C. mexicana*, se requieren mayores y más detalladas evaluaciones para comprender mejor los patrones de la comunidad de insectos, arácnidos, moluscos y demás invertebrados encontrados en el dosel de *C. mexicana* y cómo estos son afectados por la fragmentación y destrucción de los bosques. Además se requieren muestreos complementarios con otras técnicas ya que las observaciones de la comunidad de invertebrados pueden estar potencialmente sesgadas por el tipo de muestreo (Doxon et al., 2011; Spafford & Lortie, 2013). Por ejemplo, algunos invertebrados se alimentan de las raíces en su etapa larvaria y de las hojas u otros insectos del dosel en su etapa adulta (Basset, 2001) o presentan una movilidad importante. Las interacciones bióticas de *C. mexicana* aún son poco estudiadas por lo que es importante continuar su investigación preferentemente

aumentando el área de muestreo. Cabe destacar que uno de los insectos observados en mayor cantidad fue el coleóptero *Monocesta ducalis*, tanto en su etapa larvaria como en su etapa adulta, y este insecto se observó alimentándose de las hojas del tejocote, por lo que consideramos sería importante evaluar sus poblaciones en proyectos futuros pues en el presente estudio, no se contabilizaron ni se evaluaron los patrones de distribución de este herbívoro.

Desempeño de *Crataegus mexicana*

Respecto al desempeño de los individuos de *C. mexicana*, se encontró que la altura y la cobertura de los árboles fue independiente del bosque circundante donde crecían los árboles, por lo que pareciera que todos los sitios evaluados representan condiciones que permiten el buen desarrollo de esta especie. Sin embargo, la producción de frutos de los árboles sí mostró una relación negativa con la cobertura del bosque circundante, lo que indica que encontrarse dentro del bosque es desfavorable para la producción de frutos de *C. mexicana*. Por ello pareciera que a pesar de que no hubo diferencias en el crecimiento vegetativo de los árboles y dado que la producción de frutos fue menor dentro del bosque, la población de *C. mexicana* podría verse afectada en el mediano plazo en estos sitios. En general es sabido que muchos polinizadores prefieren áreas abiertas o de bosques secundarios (Armas-Quiñonez et al., 2020; Boreux et al., 2013), por lo que es probable que los polinizadores del tejocote también observen este patrón; este aspecto debería ser investigado en futuros trabajos. Además, aunque los árboles se seleccionaron pretendiendo que se encontrarán en sitios de poco o nulo manejo, resultó difícil mantener este aspecto monitoreado, por lo que en los futuros estudios se debiera tomar en cuenta factores socio-ecológicos. Por otro lado, las plantas de *C. mexicana* sufrieron una herbivoría, en promedio, del 3%, y no tuvo un efecto significativo en

la producción de frutos, lo que nos muestra que este nivel de herbivoría no parece afectar el éxito reproductivo de *C. mexicana*. Para otros bosques templados el promedio de herbivoría se ha calculado en 7% (Coley & Barone, 1996), por lo que comparativamente el daño encontrado en tejocote es bajo.

Durante el estudio se pudo observar que la mayoría de los frutos de *C. mexicana* presentaban daño. Posiblemente ocasionado por la mosca *Ragoletis pomonella* reportada en otros estudios (Hernández-Ortíz et al., 2004; Muñiz-Reyes et al., 2014). Sin embargo, no se cuantificó este daño ni tampoco se evaluó si este daño podría ser significativo para el éxito en la germinación de las semillas; esto también debería ser investigado en futuros proyectos.

Otro aspecto relacionado con el desempeño de los árboles estudiados fue la presencia de plantas hemiparásitas de *P. calyculatus*, ésta estuvo presente en el 25% de los árboles estudiados y el nivel de infestación por árbol rondó entre un cero y un 37% de infestación del dosel lo cual puede considerarse de leve a moderado (Collazo & Geils, 2002) y concuerda con observaciones en estudios previos (Pérez, 2014). Sin embargo, no se observó una relación entre la presencia de estas hemiparásitas, la cobertura de bosque y el desempeño de los árboles. Otros estudios han demostrado que la presencia de plantas parásitas puede ser muy significativo para el desempeño de los árboles (Fontúrbel et al., 2017; Press & Phoenix, 2005); en particular Bell et al. (2020) encontraron que el efecto de las plantas parásitas en bosques templados se ha incrementado debido al cambio climático, mientras que otros estudios con hemiparásitas reportan que el efecto negativo sobre los hospederos podría deberse a la competencia por luz y no tanto por la absorción del carbono producido por la planta hospedera (Těšitel et al., 2010).

Conclusiones

Se observó que a medida que la cobertura del dosel en los bosques aumentaba, la humedad relativa máxima disminuía. Acari y Collembola fueron los órdenes más abundantes, probablemente debido a la acumulación de desechos en el dosel. La abundancia de invertebrados mostró una relación clara con los patrones de lluvias y secas, siendo mayor durante la temporada de lluvias. Se identificaron invertebrados de 18 órdenes asociados al dosel de *C. mexicana*. No se hallaron diferencias significativas en la comunidad de invertebrados entre las distintas categorías de bosques, sugiriendo que los sitios muestreados podrían representar un mismo sistema ecológico. La altura y la cobertura de los árboles de tejocote no difirieron significativamente entre los diferentes tipos de bosque circundante. Sin embargo, la producción de frutos fue menor en áreas boscosas, lo que podría impactar a la población a largo plazo. Aunque los árboles mostraron un nivel de herbivoría del 3%, esto no afectó significativamente la producción de frutos. Los árboles presentaron un mejor desempeño en áreas abiertas. Este estudio contribuye a la comprensión de la comunidad de invertebrados del dosel de *C. mexicana*, ofreciendo información valiosa sobre su desempeño y sus enemigos naturales.

Consideraciones finales

Las plantas tuvieron un desempeño mejor en sitios abiertos, lo que apoya el supuesto de que el cambio climático parece favorecerle (Núñez-Colín et al., 2012). Sin embargo, a pesar de que no se encuentra en peligro de extinción, se ha observado que sus poblaciones han disminuido significativamente en la localidad de Ihuatzio (observación personal). La causa de esta disminución no está clara y podría deberse a diversos factores socio-ecológicos o la presencia de variables aún no estudiadas que podrían estar influyendo en esta tendencia.

Pudimos observar que los sitios estudiados, sí sufrieron cierto grado de manejo. Sin embargo, estos no fueron considerados en este proyecto, ya que nos centramos más en factores antropogénicos menos directos que pudieron influir en la distribución de los tejocotes como lo fue las diferentes coberturas de bosque circundante.

Para entender mejor las amenazas que enfrenta la especie *C. mexicana*, es necesario continuar los estudios sobre sus enemigos naturales, incluyendo parásitos y patógenos que puedan afectar su supervivencia y reproducción. Además, es importante investigar su fenología, es decir, los ciclos biológicos y las interacciones con otros organismos en su ambiente, sobre todo polinizadores, así como factores socio-ecosistémicos ya que todo esto parece ser clave en su éxito reproductivo. Esto permitirá comprender mejor los factores que influyen en su distribución y abundancia, y proporcionará más información valiosa para el diseño de estrategias de conservación y restauración de su hábitat.

Referencias Bibliográficas

- Armas-Quiñonez, G., Ayala-Barajas, R., Avendaño-Mendoza, C., Lindig-Cisneros, R., & del-Val, E. (2020). Bee diversity in secondary forests and coffee plantations in a transition between foothills and highlands in the Guatemalan Pacific Coast. *PeerJ*, 2020(6), 1–20. <https://doi.org/10.7717/peerj.9257>
- Aussenac, G. (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57(3), 287–301. <https://doi.org/10.1051/forest:2000119>
- Basset, Y. (2001). *Invertebrates in the canopy of tropical rain forests How much do we really know?* 87–107. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3606-0_8
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). Ecology From individuals to ecosystems. In *Nucl. Phys.* (Fourth). Blackwell Publishing.
- Bell, D. M., Pabst, R. J., & Shaw, D. C. (2020). Tree growth declines and mortality were associated with a parasitic plant during warm and dry climatic conditions in a temperate coniferous forest ecosystem. *Global Change Biology*, 26, 1714–1724. <https://doi.org/DOI: 10.1111/gcb.14834>
- Benítez-Malvido, J., & Kossmann-Ferraz, I. D. (1999). Litter Cover Variability Affects Seedling Performance and Herbivory. *Biotropica*, 598–606. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00407.x>
- Blancas, J., Casas, A., Moreno-Calles, A. I., & Caballero, J. (2016). *Cultural Motives of Plant Management and Domestication*. 233–255. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_10
- Blois, J. L., Zarnetske, P. L., Fitzpatrick, M. C., & Finnegan, S. (2013). Climate change and the past, present, and future of biotic interactions. *Science*, 341(6145), 499–504. <https://doi.org/10.1126/science.1237184>

- Boreux, V., Krishnan, S., Cheppudira, K. G., & Ghazoul, J. (2013). Impact of forest fragments on bee visits and fruit set in rain-fed and irrigated coffee agro-forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 172, 42–48.
- Borys, M. W., & Leszczyńska-Borys, H. (1994). Tejocote (*Crataegus* spp.) Planta para solares e interiores. *Revista Chapingo*, 2, 95–107.
- Cervantes-Paz, B., Ornelas-Paz, J. de J., Gardea-Béjar, A. A., Yahia, E. M., Rios-Velasco, C., Zamudio-Flores, P. B., Ruiz-Cruz, S., & Ibarra-Junquera, V. (2018). COMPUESTOS FENÓLICOS DE TEJOCOTE (*Crataegus* spp.): SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA ASOCIADA A LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(3), 339–349.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.339-349>
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: Pasado, presente y futuro*. México. UNAM, Instituto de Biología. 1998.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. In *Capital natural de México: Vol. I* (Issue Conocimiento actual de la biodiversidad Resumen, pp. 87–108). http://elbibliote.com/libro-pedia/manual_csnaturales/3grado/capitulo6/pdf/3.6.3.pdf
- Chen, J., Franklin, J. F., & Spies, T. A. (1993). Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63(3–4), 219–237. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(93\)90061-L](https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90061-L)
- Chen, J., Saunders, S. C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Brososfske, K. D., Mroz, G. D., Brookshire, B. L., & Franklin, J. F. (1999). Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology. *BioScience*, 49(4), 288–297.
- Clavel, J., Julliard, R., & Devictor, V. (2011). Worldwide decline of specialist species: Toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(4), 222–228. <https://doi.org/10.1890/080216>
- Coley, P. D., & Barone, J. A. (1996). Herbivory and plant defenses in tropical forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27, 305–335.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.305>

- Collazo, I. V., & Geils, B. W. (2002). Psittacanthus in Mexico. *Mistetloes of North American Conifers*, 9–17.
- CONABIO. (2021). *CONABIO*.
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado>
- Conabio, S. conafor. (n.d.). *Crataegus mexicana*. Retrieved November 5, 2019, from [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/908Crataegus mexicana.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/908Crataegus%20mexicana.pdf)
- Del Val, E., & Boege, K. (coords. . (2012). *Ecología y evolución de las interacciones bióticas*. Ediciones científicas universitarias.
- Dirzo, R., & Domínguez, C. A. (1995). Plant–herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forests. *Seasonally Dry Tropical Forests, March*, 304–325.
<https://doi.org/10.1017/cbo9780511753398.012>
- Dönmez, A. A. (2004). The genus *Crataegus* L. (Rosaceae) with special reference to hybridisation and biodiversity in Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 28(1–2), 29–37.
- Doxon, E. D., Davis, C. A., & Fuhlendorf, S. D. (2011). Comparison of two methods for sampling invertebrates: Vacuum and sweep-net sampling. *Journal of Field Ornithology*, 82(1), 60–67. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2010.00308.x>
- Farfán, B., Casas, A., Ibarra-Manríquez, G., & Pérez-Negrón, E. (2007). Mazahua Ethnobotany and Subsistence in the Monarch.pdf. *Economic Botany*, 61(2), 173–191.
- Flores, A., Velasco-García, M. V., Muñoz-Gutiérrez, L., Martínez-Trinidad, T., Gómez-Cárdenas, M., & Román-Castillo, C. (2018). Zonas Urbanas Tree Species for Biodiversity Conservation in Urban. *Mitigación Del Daño Ambiental Agroalimentario y Forestal de México, December*.
- Fontúrbel, F. E., Salazar, D. A., & Medel, R. (2017). Why mistletoes are more aggregated in disturbed forests? The role of differential host mortality. *Forest Ecology and Management*, 394, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.028>
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20(2), 1–10.

- Google LLC. (2021). *Google Earth Pro* (7.3.6.9345 (64-bit)).
<https://www.google.com/earth/>
- Guerrero, P. C., & Bustamante, R. O. (2009). Abiotic alterations caused by forest fragmentation affect tree regeneration: A shade and drought tolerance gradient in the remnants of Coastal Maulino forest. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(3), 413–424. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2009000300008>
- Guevara, R., & Dirzo, R. (2012). Las interacciones bióticas en el contexto del cambio ambiental global. In *Ecología y Evolución de las interacciones bióticas*. Ediciones científicas universitarias.
- Hernández-Ortíz, V., Morales, I., & Vergara, C. (2004). DETECCIÓN DE POBLACIONES DE RHAGOLETIS POMONELLA (DIPTERA: TEPHRITIDAE) DURANTE LA FRUCTIFICACIÓN DE *Crataegus mexicana* (ROSACEAE) EN PUEBLA, MÉXICO. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(1), 119–129.
- INECOL. (n.d.). *Tejocotes mexicanos: algo más que un ingrediente en el ponche*.
<http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/529-tejocotes-mexicanos-algo-mas-que-un-ingrediente-en-el-ponche>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Mapa digital de México*. (2021).
<https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- José Antonio, B.-T., & Margarita, C.-R. (2015). Biological Properties and Antioxidant Activity of Hawthorn *Crataegus mexicana*. *Journal of Pharmacogenomics & Pharmacoproteomics*, 06(04). <https://doi.org/10.4172/2153-0645.1000153>
- Kishimoto-Yamada, K., & Itioka, T. (2015). How much have we learned about seasonality in tropical insect abundance since Wolda (1988)? *Entomological Science*, 18(4), 407–419. <https://doi.org/10.1111/ens.12134>
- Krebs, C. J. (2014). Ecology Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance Charles J. Krebs. In *BioScience* (Sixth Edit, Vol. 23, Issue 4). Pearson.
<https://doi.org/10.2307/1296598>

- Langmaier, M., & Lapin, K. (2020). A Systematic Review of the Impact of Invasive Alien Plants on Forest Regeneration in European Temperate Forests. *Frontiers in Plant Science*, 11(September), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.524969>
- Medel, R., Aizen, M. A., & Zamora, R. (2020). *ECOLOGÍA Y EVOLUCIÓN DE INTERACCIONES PLANTA-ANIMAL* (R. Medel, M. A. Aizen, & R. Zamora (Eds.); Vol. 21, Issue 1). EDITORIAL UNIVERSITARIA. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Muñiz-Reyes, E., Guzmán-Franco, A. W., Sánchez-Escudero, J., & Nieto-Angel, R. (2014). Occurrence of entomopathogenic fungi in tejocote (*Crataegus mexicana*) orchard soils and their pathogenicity against *Rhagoletis pomonella*. *Journal of Applied Microbiology*, 117(5), 1450–1462. <https://doi.org/10.1111/jam.12617>
- Nadkarni, N. M., & Longino, J. T. (1990). Invertebrates in Canopy and Ground Organic Matter in a Neotropical Montane Forest, Costa Rica. *Biotropica*, 22(3), 286. <https://doi.org/10.2307/2388539>
- Nieto- Ángel, R., & Borys, M. W. (1999). Relaciones fisiológicas y morfológicas de injertos sde frutales sobre tejocote (*Crataegus* spp.) como portainjerto. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(2), 137–150.
- Núñez-Colín, C. A., Nieto-Ángel, R., Barrientos-Priego, A. F., Segura, S., Sahagún-Castellanos, J., & González-Andres, F. (2008). DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN ECO-CLIMÁTICA DEL GÉNERO *Crataegus* L. (Rosaceae, SUMFAM. Maloideae) EN MÉXICO. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2), 177–184.
- Núñez-Colín, C. A., & Sánchez-Vidaña, D. I. (2011). Ethnobotanical, cultural, and agricultural uses of tejocote (*crataegus* species) in mexico. *Acta Horticulturae*, 918, 901–910. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.918.118>
- Núñez-Colín, Carlos A. (2009). the Tejocote (*Crataegus* Species): a Mexican Plant Genetic Resource That Is Wasted. a Review. *Acta Horticulturae*, 806, 339–346. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.806.42>

- Núñez-Colín, Carlos A, Escobedo-López, D., Hernández-Martínez, M. Á., & Ortega-Rodríguez, C. (2012). MODELOS DE LAS ZONAS ADECUADAS DE ADAPTACIÓN DEL TEJOCOTE (*Crataegus mexicana* DC.) POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*.
- Núñez Colín, C., & Hernández Martínez, M. (2011). La problemática en la taxonomía de los recursos genéticos de tejocote (“crataegus” spp.) en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(1), 141–153.
- Palacios-Vargas, J. G., Castaño Meneses, G., & Gómez-Anaya, J. A. (1998). Collembola from the canopy of a Mexican tropical deciduous forest 1. *Pan-Pacific Entomologist*, 74(1), 47–54.
- Pérez-Olvera, C. de la P., Mendoza-Aguirre, M., Ceja-Romero, J., & Pacheco, L. (2008). Anatomía de la madera de cinco especies de la familia Rosaceae Wood anatomy of five specie of the Rosaceae family. *Madera y Bosques*, 14(1), 81–105.
- Pérez, J. I. J. (2014). Impacto del muérdago (*Psittacanthus calyculatus*) en la economía de las familias campesinas en una región del subtrópico mexicano. *Perspectivas Latinamericanas*, 13(1), 141–156.
- Phipps, J. B., O’Kennon, J., & Lence W., R. (2003). Hawthorns and Medlars. In *Plant Collector Guide*. Timber press.
- Press, M. C., & Phoenix, G. K. (2005). Impacts of parasitic plants on natural communities. *New Phytologist*, 166(3), 737–751. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01358.x>
- QGIS (3.28.3-Firenze). (2023).
- R.Nieto-Angel; A.Barrientos-Villaseñor; M.W.Borys. (1996). Domesticación del Tejocote (*Crataegus* spp .) en México . Un potencial Frutícola. *Technical Report, N° 17*, 8.(October), 8.
- Renaud, V., Innes, J. L., Dobbertin, M., & Rebetez, M. (2011). Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland for different types of forests over 10 years (1998-2007). *Theoretical and Applied Climatology*, 105(1), 119–127.

<https://doi.org/10.1007/s00704-010-0361-0>

Rs, R., Kumar, M. G., & Ranjith, M. (2017). Influence of weather parameters on seasonal abundance of arthropods in a floricultural ecosystem. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), 1672–1676.

Rzedowski, J. (1991). DIVERSIDAD Y ORÍGENES DE LA FLORA FANEROGÁMICA DE MÉXICO. *Acta Botánica Mexicana*.

Salmerón Carlos, M. É. (2016). *MANEJO TRADICIONAL Y POTENCIALIDADES DE APROVECHAMIENTO DEL KARHASÍ (TEJOCOTE, Crataegus mexicana) EN LA COMUNIDAD P'URHEPECHA SAN JUAN CARAPAN, MICHOACÁN, MÉXICO*. [UNIVERSIDAD INTERCULTURAL INDÍGENA DE MICHOACÁN].

[https://repositoriouiim.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/127/SalmerónCarlos2016.Manejo tradicional y potencialidades de aprovechamiento del Karhasí %28Tejocote Crataegus mexicana%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriouiim.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/127/SalmerónCarlos2016.Manejo%20tradicional%20y%20potencialidades%20de%20aprovechamiento%20del%20Karhasi%20Tejocote%20Crataegus%20mexicana.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sánchez, Ó., Vega, E., Peters, E., & Monroy-Vilchis, O. (2003). *CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS TEMPLADOS DE MONTAÑA EN MÉXICO*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).

Santos-Barrera, Georgina; Urbina-Cardona, J. N., & The. (2011). The role of the matrix-edge dynamics of amphibian conservation in tropical montane fragmented landscapes La dinámica del borde-matriz en bosques mesófilos de montaña fragmentados y su papel en la. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(2), 679–687.

SEMARNAT. (2009). *Informe de la situación del medio ambiente en México city. Compendio de estadísticas ambientales. México: SEMARNAT*.

Servicio Meteorológico Nacional. (2017). *Información Climatológica por estado*.

<https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mich>

SIAP. (2018). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*.

<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SIAP. (2019). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://www.gob.mx/siap>

- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología*. PEARSON EDUCACIÓN, S. A.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_90677
- Spafford, R. D., & Lortie, C. J. (2013). Sweeping beauty: Is grassland arthropod community composition effectively estimated by sweep netting? *Ecology and Evolution*, 3(10), 3347–3358. <https://doi.org/10.1002/ece3.688>
- Těšitel, J., Plavcová, L., & Cameron, D. D. (2010). Interactions between hemiparasitic plants and their hosts: The importance of organic carbon transfer. *Plant Signaling and Behavior*, 5(9), 1072–1076. <https://doi.org/10.4161/psb.5.9.12563>
- Tovar-Sánchez, E., Cano-Santana, Z., & Oyama, K. (2004). Canopy arthropod communities on Mexican oaks at sites with different disturbance regimes. *Biological Conservation*, 115(1), 79–87. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00096-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00096-X)
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *BORROR AND DELONG'S INTRODUCTION TO THE STUDY OF INSECTS* (BROOKS/COLE (Ed.); 7th ed.). Marshall, Peter.
- Van Rossum, F., De Sousa, S. C., & Triest, L. (2006). Morph-specific differences in reproductive success in the distylous *Primula veris* in a context of habitat fragmentation. *Acta Oecologica*, 30(3), 426–433.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2006.06.005>
- Vilela, A. A., Del Claro, V. T. S., Torezan-Silingardi, H. M., & Del-Claro, K. (2018). Climate changes affecting biotic interactions, phenology, and reproductive success in a savanna community over a 10-year period. *Arthropod-Plant Interactions*, 12(2), 215–227. <https://doi.org/10.1007/s11829-017-9572-y>
- Von Arx, G., Dobbertin, M., & Rebetez, M. (2012). Spatio-temporal effects of forest canopy on understory microclimate in a long-term experiment in Switzerland. In *Agricultural and Forest Meteorology* (Vols. 166–167, pp. 144–155).
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.07.018>