



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE BIOLOGÍA**



**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRIA EN
CIENCIAS BIOLOGICAS**

Variación espacio-temporal de las redes de interacción planta-visitante floral del Bosque Tropical Seco

Proyecto de tesis

que presenta

Biól. Diana Abarca Solorio

**que como requisito parcial para obtener el título profesional
de**

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Directora de tesis: Dra. Yvonne Herrerías Diego

Codirector: Dr. Mauricio Quesada Avendaño



Morelia Mich. febrero de 2026

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

ANEXO II. DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaración de originalidad

El presente documento es producto del trabajo original de investigación de Variación espacio-temporal de las redes de interacción planta-visitante floral del Bosque Tropical Seco, estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas y respetando siempre los más altos estándares éticos solicitados por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Todos los datos de la investigación reportada en el presente documento de tesis (excepto los indicados explícitamente en el texto), fueron obtenidos por Diana Abarca Solorio durante el periodo que fue estudiante de la Maestría en Ciencias Biológicas, bajo la Dirección de la Dra. Yvonne Herrerías Diego y la Co-Dirección del Dr. Mauricio Quesada Avendaño.

Morelia, Mich., a 19 de febrero _de 2026

Biol. Diana Abarca Solorio

Dra. Yvonne Herrerías Diego

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, UMSNH

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica (LANASE) y al laboratorio de Ecología Evolutiva y Conservación de los Bosques Tropicales de la Universidad Nacional Autónoma de México, por facilitarme las instalaciones y el equipo necesario para la realización de la tesis.

Al laboratorio de Vida Silvestre de la Facultad de Biología por permitirme usar sus instalaciones para la realización de la tesis.

Agradezco a los proyectos que financiaron el presente trabajo: A la beca que me proporcionó el CONAHCyT ahora SECIHTI. A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) Proyecto No. LN-2025-C-127, Gobierno de México. A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA). Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT IN225924). Al Laboratorio Binacional, Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad de Costa Rica (UNAM-UCR). Protección de los insectos polinizadores y sus servicios en América Latina y el Caribe Poli-LAC. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

Agradezco a mi asesora de tesis la Dra. Yvonne Herreras Diego y a mi co-asesor de tesis el Dr. Mauricio Quesada Avendaño por su orientación, paciencia y apoyo para la culminación de este proyecto.

Agradezco a Gumersindo Sánchez Montoya por el apoyo Logístico.

Agradezco a mis sinodales: el Dr. José Arnulfo Blanco García, el Dr. Martin Hesajim de Santiago Hernández y al Dr. Edson Jacob Cristóbal Pérez por sus comentarios y recomendaciones que fueron de gran ayuda en este trabajo.

Al Dr. Olivero Delgado-Carrillo por su apoyo en la identificación de las especies de insectos y al Dr. Jorge Cortés Flores por su apoyo en la identificación de plantas.

Agradezco a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

A mis compañeros: Columba, Natael, Milca, Cecilia, Monserrat, Carolina por el apoyo que me brindaron en campo y en el procesamiento del material de campo, el cual no fue sencillo.

Agradezco a mis amigos de la universidad: Esthefania Meza, Carmina Domínguez, Ruth González, Edson Acosta, Oscar González, Martel Blanco, Guillermo Orozco y Axel Cortes, quienes han estado presentes desde hace mucho tiempo, por darme ánimos y por creer en mí siempre.

CONTENDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES	11
PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA	16
Hipótesis:	16
OBJETIVOS	17
Objetivo general	17
Objetivos particulares	17
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Sitio de estudio	18
Selección de sitios	18
Toma de datos	18
ANÁLISIS DE DATOS	19
Diversidad de especies de plantas en floración y visitantes florales	19
Fenología	20
Redes de interacción	20
Disimilitud de las redes de interacción de especies	21
RESULTADOS	22
Diversidad de especies de plantas en floración y visitantes florales	22
Fenología	27
Redes de interacción	30
Disimilitud de las redes de interacción de especies	35
DISCUSIÓN	36
CONCLUSIONES	42
LITERATURA CONSULTADA	44
ANEXOS	55

RESUMEN

Las interacciones planta-visitante floral son fundamentales para la reproducción sexual de las angiospermas y están influenciadas por factores como la estacionalidad y el tipo de vegetación. Estas interacciones son clave en ecosistemas estacionales como los bosques tropicales secos, ya que determinan la estructura y composición de las comunidades. Este trabajo tuvo como objetivo analizar la estructura de las redes de interacción planta-visitante floral para evaluar el efecto de la estacionalidad y la disponibilidad de recursos florales en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Se establecieron seis parcelas (3 bosque deciduo y 3 bosque semideciduo) donde se realizaron colectas mensuales y observaciones diurnas de visitantes florales. Se registraron 2393 interacciones entre 137 especies de visitantes florales y 96 especies de plantas. Con esta información se construyeron dos redes por tipo de vegetación para cada temporada (lluviosa y seca). Encontramos que la riqueza de plantas con flor y visitantes florales fue mayor durante la temporada de lluvias en los dos tipos de vegetación. Sin embargo, encontramos que la abundancia y la dominancia fueron mayores en el bosque semideciduo durante la temporada seca a pesar de ser el sitio con menor número de especies. Reportamos que la variación de la diversidad beta de las plantas con flor se da por el tipo de vegetación y no por la temporada mientras que en los visitantes florales la variación es de tipo estacional. Encontramos que la riqueza de especies y los patrones fenológicos de las plantas con flor y la actividad de visitantes florales se concentran en un momento específico del año, durante la temporada lluviosa. La abundancia de los visitantes florales presento un patrón distinto, pues esta evidencia la presencia de dos picos de floración: uno durante la temporada seca y otro durante la temporada lluviosa. Las redes de interacción fueron más especializadas y anidadas durante la temporada de lluvias en el bosque deciduo y en el bosque semideciduo y poco especializadas y menos conectadas en la temporada seca. Sin embargo, la red con mayor número de interacción fue la red de bosque semideciduo durante la temporada seca pese a que fue la red con menor número de especies de plantas con flor y visitantes florales. Nuestros resultados demuestran que la conservación del bosque semideciduo es fundamental para

garantizar las interacciones entre las plantas y los diferentes visitantes florales cuando hay escasez de recursos en el bosque decido.

Palabras clave: Interacciones, Estacionalidad, Reserva Chamela-Cuixmala, Plantas con flor, Visitantes florales.

ABSTRACT

Plant-flower visitor interactions are fundamental to the sexual reproduction of angiosperms and are influenced by factors such as seasonality and vegetation type. These interactions are key in seasonal ecosystems such as tropical dry forests, as they determine the structure and composition of communities. The objective of this study was to analyze the structure of plant-flower visitor interaction networks to evaluate the effect of seasonality and floral resource availability in the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve. Six plots (3 deciduous forest and 3 semi-deciduous forest) were established where monthly collections and daytime observations of flower visitors were made. A total of 2,393 interactions between 137 species of floral visitors and 96 plant species were recorded. With this information, two networks were constructed for each vegetation type for each season (rainy and dry). We found that the richness of flowering plants and floral visitors was greater during the rainy season in both vegetation types. However, we found that abundance and dominance were greater in the semi-deciduous forest during the dry season, despite being the site with the lowest number of species. We report that the variation in beta diversity of flowering plants is due to vegetation type rather than season, whereas in floral visitors the variation is seasonal. We found that species richness and phenological patterns of flowering plants and floral visitor activity are concentrated at a specific time of year, during the rainy season. The abundance of floral visitors showed a different pattern, as it revealed the presence of two flowering peaks: one during the dry season and another during the rainy season. Interaction networks were more specialized and nested during the rainy season in the deciduous forest and semi-deciduous forest, and less specialized and less connected during the dry season. However, the network with the highest number of interactions was the semi-deciduous forest network during the dry season, even though it was the network with the lowest number of flowering plant species and floral visitors. Our results show that the conservation of semi-deciduous forest is essential to ensure interactions between plants and different floral visitors when resources are scarce in the deciduous forest.

Keywords: Interactions, Seasonality, Chamela-Cuixmala Reserve, Flowering plants, Floral visitors.

INTRODUCCIÓN

Las interacciones bióticas se definen como las relaciones que se establecen entre dos o más organismos. Entre ellas, el mutualismo corresponde a un tipo de interacción en la cual los individuos de diferentes especies obtienen beneficios recíprocos, como ocurre en la polinización, la simbiosis y la dispersión de semillas (Parra-Tabla, 2015). La polinización animal es fundamental para la reproducción sexual de las plantas con flores, el mantenimiento de su diversidad genética y el mantenimiento de la diversidad de comunidades (Klein *et al.*, 2007; Hoehn *et al.*, 2008; Parra-Tabla, 2015). Alrededor del 80% de las plantas con flores requieren fertilización cruzada para su reproducción (Quesada *et al.*, 2014) y más del 70% de los cultivos presentan algún grado de dependencia de polinización animal (Klein *et al.*, 2007). No obstante, esta interacción está siendo afectada por la creciente pérdida de ambientes naturales causado por el cambio climático, el cambio de uso de suelo, la deforestación y el uso de fertilizantes y pesticidas (Aguilar *et al.*, 2019, 2026; Ashworth *et al.*, 2009; Aguirre *et al.*, 2018).

Las comunidades ecológicas son altamente dinámicas, sobre todo en ecosistemas estacionales donde los patrones fenológicos de las plantas y sus polinizadores, promueven cambios temporales en la cantidad y composición de recursos florales y polinizadores (Cortés-Flores *et al.*, 2023; Cristóbal-Pérez *et al.*, 2024). Esto a su vez, impone condiciones en el establecimiento de la interacción planta-visitante floral. En bosques tropicales las redes de interacción planta-visitante floral no son estáticas, sino dinámicas, ya que su estructura varía en respuesta a procesos como la sucesión ecológica, la fenología y la estacionalidad (Cortés-Flores *et al.*, 2023). Como resultado de cambios estacionales en la fenología floral y la composición de comunidades de visitantes florales, la ocurrencia e intensidad de las interacciones puede variar a través del tiempo. Además, la composición de las comunidades de plantas y polinizadores, así como sus interacciones pueden variar espacialmente, sobre todo en paisajes y ecosistemas heterogéneos. Diferencias espacio-temporales en la interacción planta-polinizador puede ser atribuido a cambios en el ensamblaje de especies (i.e., recambio de especies) o a su

plasticidad para interactuar con otras especies (i.e., recableado de interacciones). A pesar de que numerosos estudios han documentado los efectos de la estacionalidad sobre la fenología y estructura de los bosques tropicales secos, aún existe un conocimiento limitado sobre cómo la variación espacio-temporal influye en las interacciones ecológicas entre plantas y sus visitantes florales, particularmente desde un enfoque de redes de interacción.

Los bosques tropicales secos, son ecosistemas que se caracterizan por presentar una marcada estacionalidad climática, determinado por un periodo marcado de lluvias y una larga estación seca (García-Oliva *et al.*, 2002). En este ecosistema, coexisten dos tipos de vegetación: el bosque deciduo y el bosque semideciduo, cuya distribución espacial está determinada por la disponibilidad de agua (Sanchez-Azofeifa *et al.*, 2019). En ecosistemas estacionales, las plantas presentan diferentes respuestas fenológicas frente a la estacionalidad. Esta estacionalidad influye directamente en la disponibilidad temporal de recursos y en la dinámica de las comunidades biológicas, generando respuestas diferenciadas entre especies y grupos funcionales (Gentry, 1995; Murphy & Lugo, 1986; Mooney *et al.*, 1995; Borchert, 1996; Poorter & Markesteijn, 2008; Dirzo *et al.*, 2011). En un estudio previo Cortés-Flores *et al.*, (2023), documentaron la fenología de floración en sitios de bosque deciduo y sus resultados muestran que la floración de especies herbáceas ocurrió durante la estación lluviosa, mientras que la floración de especies arbóreas y arbustivas ocurrió tanto las estaciones lluviosa y seca. (Cortés-Flores *et al.*, 2023). Se ha sugerido que las estrategias de adquisición y almacenamiento de agua regula los patrones fenológicos de floración de las plantas (Batalha & Martins, 2004; Cortés-Flores *et al.*, 2017; Frankie *et al.*, 1974). Entonces, en sitios con mayor disponibilidad de agua como los bosques semidecuidos se espera que la fenología floral sea diferente en comparación con los bosques deciduos. Estos hábitats proveen refugio, sitios de anidamiento y recursos para el mantenimiento y conectividad de las poblaciones de animales, particularmente en la estación seca, cuando los recursos son escasos (Janzen, 1983; Griscom *et al.*, 2007). A pesar de esta importancia, no existe información sobre el papel de los bosques semidecuidos, en el mantenimiento de recursos florales y la estructura de la interacción planta-

visitante floral en bosques tropicales secos. Además, no existe un análisis de la variación espacio temporal de las interacciones planta-visitante floral en bosques tropicales secos, que incluya la variación entre estaciones (seca y lluviosa) y tipos de vegetación (Bosque deciduo y semi-deciduo). Analizar estas interacciones bajo distintos contextos estacionales resulta fundamental para comprender la dinámica funcional de estos ecosistemas y su respuesta en escenarios de cambio global.

Debido a la importancia de la estacionalidad en los procesos fenológicos y de interacciones planta-visitante floral en los bosques tropicales secos, en el presente estudio caracterizamos la comunidad de plantas en floración, la comunidad de visitantes florales y se construyeron redes de interacciones entre plantas y sus visitantes florales en dos temporadas con la finalidad de responder dos preguntas: 1) ¿Cómo influye la estacionalidad en la riqueza y abundancia de plantas con flor y visitantes florales en dos tipos de vegetación de un bosque tropical seco? y 2) ¿Cómo cambia la estructura de las redes de interacción entre tipos de vegetación y temporadas?.

ANTECEDENTES

La Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, es un área de conservación y protección principalmente para el bosque tropical seco (Ceballos *et al.*, 1999) representa un 56.1% de la cobertura total, seguida por las zonas agrícolas y de pastoreo que ocupan 25.8% (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2009). La Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala es un sitio con una excepcional diversidad de plantas y animales. Se estima que aproximadamente existen 1149 plantas vasculares pertenecientes a 125 familias (Lott, 2002) y más de 2000 especies de insectos (Quesada *et al.*, 2014).

Dentro de los dos tipos de vegetación que encontramos en los bosques tropicales secos encontramos marcadas diferencias como respuesta a gradientes de humedad y condiciones edáficas distintas provocando una composición florística y foliar particular. El bosque deciduo o selva baja caducifolia se desarrolla en ambientes más secos y prolongados en las que podemos observar dos escenarios

contrastantes, durante la temporada lluviosa encontramos paisajes más verdes y la temporada seca, donde las plantas pierden su follaje como estrategia a la falta de agua (Trejo, 1999). El uso agrícola, pecuario y eventos climáticos han ocasionado que el área original haya sido transformada o degradada; es por eso que la vegetación que encontramos son remanentes de vegetación secundaria en donde se encuentran comunidades vegetales con árboles más pequeños, casi impenetrables y espinosos (Saenz-Pedraza *et al*, 2022). Este tipo de vegetación le asigna al ecosistema una heterogeneidad ambiental lo que indica una alta diversidad de polinizadores esto de acuerdo con la teoría del disturbio intermedio (Connell, 1978; Sousa, 2001), mientras que en el bosque semidecíduo o selva mediana subcaducifolia presenta una pérdida parcial del follaje de las plantas durante todo el año asociada a una mayor disponibilidad de agua (Bullock & Solís-Magallanes, 1990) generando árboles de mayor altura los cuales proporcionan sombra que minimizan la entrada directa de la radiación solar y reduciendo la temperatura del agua (Lozano-Peña *et al.*, 2019). Como se puede ver, la estacionalidad ejerce un papel importante sobre la fenología de las plantas en ambos tipos de vegetación, determinando la producción de hojas, flores y frutos (Bullock & Solís-Magallanes, 1990; Martínez-Yrizar & Sarukhán, 1990) marcando así la diversidad, actividad e interacción de organismos que dependen de los recursos florales (Pennington *et al.*, 2000; Quesada *et al.*, 2009; García-Atencia *et al.*, 2015; González-Ramírez *et al.*, 2017). El Bosque Tropical Seco presenta una alta diversidad de abejas, 238 especies divididas en 81 géneros y cinco familias, siendo la familia Apidae la más abundante (102 especies) seguida de las familias Halictidae (46 especies) y Megachilidae (52 especies) (Ayala, 2004).

Las interacciones planta-visitante floral responden a rasgos morfológicos como la forma y tamaño de las corolas, visuales como la coloración y la producción de recompensas como el néctar y el polen (Endress, 1944; Narbona & Dirzo, 2010). Estos conjuntos de rasgos han evolucionado en respuesta a presiones selectivas impuestas por distintos tipos de polinizadores y son conocidos como síndromes de polinización (Stebbins 1970; Faegri y Van der Pijl, 1979). Las características florales

pueden modular la interacción planta-visitante floral durante los periodos de mayor floración en las plantas (Cortés-Flores *et al.*, 2023). Por ejemplo, se ha descrito que las abejas pueden percibir un espectro de colores que abarca desde el ultravioleta (340 nm) hasta el rojo (650 nm) esta percepción visual favorece que prefieran visitar flores en esas tonalidades y les permite identificar cambios cromáticos en las corolas de las flores (Chittka, 1996; Chittka & Waser, 1997; Nuttman *et al.*, 2006). Otro ejemplo es el acoplamiento entre la morfología del pico de los colibríes y las corolas tubulares de ciertas flores, lo que facilita la extracción eficiente del néctar (Yuen *et al.*, 2014; Martínez-Meneses & Torres-González, 2020). Por lo tanto, los polinizadores han desempeñado un papel central en la configuración evolutiva de los rasgos florales, al ejercer presiones selectivas que han dado lugar a adaptaciones específicas por parte de las plantas (Stebbins, 1970).

Además de la adaptación evolutiva de los polinizadores en los rasgos florales de las plantas, la disponibilidad de agua y la fenología de las plantas tiene un efecto en la actividad e interacciones de algunos grupos de insectos. En 2015, García-Atencia y colaboradores llevaron a cabo un estudio para analizar la estructura y la variación estacional de los escarabajos fitófagos de la familia Scarabaeidae en un fragmento de bosque tropical seco en Colombia. Los resultados mostraron que la mayor riqueza de especies ocurrió en mayo y la mayor abundancia en abril, coincidiendo con el inicio de la temporada de lluvias. Este estudio destaca cómo las condiciones climáticas, particularmente las precipitaciones, afectan de manera directa la estacionalidad y la actividad de los escarabajos de esta familia (García-Atencia *et al.*, 2015; González-Ramírez *et al.*, 2017).

Narbona & Dirzo en 2010 proponen que el néctar floral de *Croton suberosus* funciona como una recompensa para los depredadores, específicamente para *Polistes instabilis* una avispa de la familia Vespidae, que mata insectos herbívoros. En sus resultados también mostró que *Croton suberosus* es una especie estrictamente entomófila; depende exclusivamente de insectos para su polinización. Los visitantes más abundantes fueron especies del orden Hymenoptera, seguido de

Coleoptera y Lepidoptera. Concluyendo que el néctar floral de *Croton suberosus* sirve como recompensa tanto para los polinizadores como para los defensores de la planta.

Las abejas sin aguijón son importantes polinizadores en regiones tropicales y subtropicales (Quezada-Eúan *et al.*, 2009). A diferencia de las abejas sociales, estas especies presentan hábitos únicos y adaptaciones específicas. Un estudio realizado en un Bosque Tropical Seco en Guanacaste, Costa Rica documentó las interacciones de *Scaptotrigona pectoralis* con plantas que utiliza como sitios de anidación y alimento. Los resultados destacaron la importancia de la familia Fabaceae para el ecosistema, debido a su abundante floración, que sirve como fuente principal de polen y néctar para estas abejas. Además, en las cargas polínicas de *Scaptotrigona pectoralis* se identificaron especies pertenecientes a las familias Myrtaceae, Melastomataceae, Moraceae y Sapindaceae, reflejando su diversidad de fuentes florales y su papel crucial en la dinámica del ecosistema (Barquero-Elizondo *et al.*, 2019).

Apis mellifera también es un importante visitante floral y polinizador en muchas plantas con flores. Se han realizado estudios en los Bosques Tropicales Secos que destacan la presencia de *Apis mellifera* en especies vegetales de la familia Fabaceae y Boraginaceae (Jimenez *et al.*, 2021). Se ha documentado la alta frecuencia de *Apis mellifera* en hierbas y arbustos pequeños en los Bosques Tropicales Secos (Bustillo *et al.*, 2023). Como podemos observar la presencia de *Apis mellifera* es importante en las interacciones que mantienen la estabilidad de los ecosistemas sin embargo la introducción de esta especie puede afectar la dinámica de polinización en estos ecosistemas desplazando a abejas nativas (Delgado-Carrillo, 2019).

Todas estas asociaciones son esenciales para entender el establecimiento de interacciones asociadas a la estacionalidad de los Bosques Tropicales secos. Estas interacciones se pueden entender por medio de la construcción de redes de interacción bipartidas (Medel *et al.*, 2009) que son herramientas utilizadas para conocer el grado de interacción entre los individuos involucrados, indican el papel

que cada uno de ellos tiene en el funcionamiento de un ecosistema (De Santiago Hernández *et al.*, 2019). Indicando el nivel de especialización, las redes permiten identificar especies claves para el mejor funcionamiento de un ecosistema y se puede evaluar como la diversidad está siendo afectada en ambientes naturales y/o perturbados (Ek del Val, 2022; Medel *et al.*, 2009). Se ha demostrado que en bosques tropicales las redes de interacción planta–visitante floral no son estáticas, sino dinámicas, y que su estructura varía en respuesta a procesos como la sucesión ecológica, la fenología y la estacionalidad (Cortés-Flores *et al.*, 2023).

En los bosques tropicales secos, la estacionalidad regula los patrones fenológicos de floración y fructificación de las plantas, de manera que las especies ajustan su sincronía fenológica para maximizar el éxito reproductivo y la interacción con visitantes florales durante los periodos más húmedos (Aguinda & Peñuela Mora, 2024). No obstante, estas estrategias varían entre tipos de vegetación: en el bosque semideciduo, la mayor estabilidad microclimática favorece una mayor sincronía fenológica, promoviendo interacciones planta–visitante floral más frecuentes y estructuradas (Benitez *et al.*, 2024); mientras que, en el bosque deciduo, las condiciones climáticas son más extremas y favorecen patrones fenológicos asincrónicos entre plantas y visitante floral (Cortés-Flores *et al.*, 2023).

PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA

Hipótesis:

La estacionalidad regula la fenología de floración de las plantas y de visitantes florales y la estructura de las redes de interacción variando entre estaciones y tipos de vegetación: en el bosque semidecíduo, la mayor estabilidad microclimática favorece una mayor disponibilidad de recursos florales a lo largo del año, promoviendo interacciones planta–visitante floral más frecuentes y estructuradas en comparación con el bosque decíduo, donde habría una menor disponibilidad de recursos florales, concentrado en la estación lluviosa, e interacciones planta-visitante floral menos frecuentes y estructuradas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de variación espacio-temporal sobre la fenología de floración y de visitantes florales y la estructura de las redes de interacción planta-visitante floral en un bosque tropical seco.

Objetivos particulares

1. Comparar la comunidad de plantas en floración y visitantes florales entre dos tipos de vegetación (Bosque deciduo y semideciduo) y estaciones (lluviosa y seca).
2. Describir la fenología floral de las plantas y visitantes florales en dos tipos de vegetación durante un ciclo anual.
3. Determinar diferencias en la estructura de redes de interacción planta-visitante floral entre dos tipos de vegetación (Bosque deciduo y semideciduo) y estaciones (lluviosa y seca).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Ubicada en la costa del Pacífico de México (19°30' N y 105°03' W). La temperatura media anual es de 24.6 °C correspondiendo al subgrupo cálido de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (1988). La precipitación media anual de la Estación de Biología Chamela es de 787.8 mm (García-Oliva *et al.*, 2002). La vegetación se compone principalmente de dos tipos: 1) El bosque deciduo o selva baja caducifolia (según Miranda y Hernández X., 1963; equivalente al bosque tropical caducifolio de Rzedowski, 1978) que es densa, a menudo con muchos individuos de tallo delgado, y se localiza en los lomeríos, con suelos más someros y 2) El bosque semideciduo o selva mediana subcaducifolia se desarrolla a lo largo de los arroyos principales y en lugares protegidos sobre suelos profundos (Rzedowski, 1978; Lott, 1985). Tanto el bosque deciduo como el bosque semideciduo tienden a perder sus hojas en la temporada seca (Trejo y Dirzo, 2002; Miranda y Hernández-X, 1963).

Selección de sitios

Para determinar la comunidad de visitantes florales, se eligieron sitios dentro del área natural protegida de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala donde se seleccionaron seis parcelas de 60x30 m, estas parcelas estaban dentro de una matriz de vegetación del mismo tipo. Tres parcelas de bosque semideciduo y tres parcelas de bosque deciduo. En cada parcela se trazaron dos transectos de 50x3 m, separados por una distancia de 14 m.

Toma de datos

Para conocer la diversidad de plantas en floración se contabilizó el número de especies, el número de individuos por especie en cada uno de los sitios y se registró la cobertura floral de cada individuo. Las plantas se clasificaron en diversas formas de crecimiento: herbácea, arbusto, liana, enredadera o árbol. Para cuantificar la cobertura floral de árboles se consideró el porcentaje total de la copa cubierto por flores, para arbustos, lianas, herbáceas y enredaderas se midió el porcentaje floral de la parte aérea. La cobertura floral se clasificó en I=0%, II=0-25%, III=25-50%,

IV=50-75% y V=75-100%. En el caso de los visitantes florales se realizaron observaciones y colectas diurnas entre las 7:00 a.m.-01:00 p.m. con la finalidad de abarcar el periodo de antesis floral de las diferentes especies de plantas en cada uno de los sitios. Los visitantes florales fueron capturados con redes entomológicas en transectos seleccionados en cada uno de los sitios durante periodos de 10 minutos efectivos cada hora. No se realizaron muestreos nocturnos. Los visitantes florales fueron identificados al nivel taxonómico más bajo posible utilizando claves taxonómicas y el apoyo de expertos en la identificación de artrópodos (Michener, 2007; Sarmiento-Cordero *et al.*, 2010 y Asher y Pickering, 2013). Adicionalmente los especímenes fueron comparados con la colección entomológica de la Estación de Biología Chamela y del Laboratorio Nacional de Síntesis Ecológica (LANASE). Adicionalmente, se realizaron colectas botánicas donde se incluyó el tallo, hojas y flores y/o frutos de no más de 30x40 cm por ejemplar para su posterior identificación en laboratorio.

ANÁLISIS DE DATOS

Diversidad de especies de plantas en floración y visitantes florales

Se estimó la diversidad de las plantas en floración y los visitantes florales mediante índices de diversidad alfa (α) y beta (β). La diversidad alfa fue evaluada utilizando números de Hill (Q_0 , Q_1 y Q_2), los cuales permitieron observar diferentes dimensiones de la diversidad biológica: desde la riqueza específica (Q_0) hasta la abundancia y dominancia de las especies (Q_1 y Q_2). Para conocer cuáles fueron los sitios con mayor similitud en composición de visitantes florales y recursos florales, se estimó la diversidad beta entre los diferentes tipos de vegetación y temporadas mediante un análisis de similitud (ANOSIM) empleando el índice de Bray-Curtis. Estos índices de diversidad se calcularon utilizando el paquete “Diversity” implementado en el software R (Core Team 2016). Por último, se realizó un análisis de varianza multivariante permutacional (PERMANOVA) basado en distancias de bray-curtis utilizando la función “adonis” del paquete “vegan” en el software R (versión 2.5-6) (Oksanen *et al.*, 2020). Para este análisis se incluyó el tipo de vegetación (bosque deciduo y bosque semideciduo), la estación (lluviosa y seca),

su interacción como factores independientes y la matriz de distancias como variable de respuesta.

Fenología

Se realizaron análisis de estadística circular para detectar los patrones estacionales y así comparar la abundancia temporal de plantas en floración y visitantes florales en los diferentes tipos de vegetación (bosque deciduo y bosque semideciduo) y entre estaciones del año (lluvias y secas). Se convirtieron los meses en ángulos de acuerdo a Morellato *et al.*, 2010 donde enero corresponde a 15°, febrero a 45° y diciembre a 345°, también se calculó el ángulo medio ($\bar{\alpha}$) para riqueza y abundancia de plantas con flores y polinizadores y se realizó una prueba de Rayleigh para evaluar la unimodalidad. El análisis circular se realizó utilizando el paquete “circular” en el software R (R Core Team 2016).

Redes de interacción

Con la identificación de los individuos colectados y observados de visitantes y plantas en floración se construyeron y compararon redes de interacción para cada tipo de vegetación, tanto para la temporada lluviosa (junio-noviembre) como para la temporada seca (diciembre-mayo). Estas redes se construyeron a partir del número de visitas. Se construyeron dos tipos de redes de interacción. La primera correspondió a redes a nivel de especie, en las que se incluyeron todas las especies de plantas en floración y sus respectivos visitantes florales. La segunda consistió en redes agregadas, en las que las especies de plantas se agruparon de acuerdo con su forma de crecimiento (árbol, arbusto, herbácea, liana, enredadera y epífita), mientras que los visitantes florales se clasificaron por grupo funcional. Para caracterizar la estructura de la red se calcularon las siguientes métricas: 1) Especialización de la red (H^2) que cuantifica el grado de interacción entre especies a nivel de la red, con valores de 0 a 1 donde 0 es generalista y 1 es especialista (Blüthgen *et al.*, 2007); 2) Anidamiento cualitativo (NODF) (presencia y ausencia de interacciones) y anidamiento cuantitativo (WNODF) (incluye la magnitud de la interacción), ambas métricas describen la asimetría de la especialización con

valores de 0 (no hay anidamiento) a 100 (anidamiento completo); 3) Conectancia, la proporción de interacciones que pueden ocurrir fuera del total posible de interacciones; 4) generalidad para polinizadores y vulnerabilidad para plantas que se refiere a la media de interacciones entre especies (valores próximos al cero indican mayor especialización y valores más lejos al cero mayor generalidad) ; 5) Q modularidad cuantifica el grado en el que las especies interactúan más entre ellas que con otras. Todas las métricas de red fueron comparadas con un modelo nulo para determinar si los valores observados se desvían significativamente del azar. Para el análisis del modelo nulo se generaron 1000 redes mediante el modelo nulo *r2dtable* que mantiene la suma de las filas y columnas constante (Dormann *et al*, 2008). Para calcular las métricas de red, utilizamos el paquete “bipartite” en el software R (R Core Team 2016), y para dibujar las redes, utilizamos el software Cytoscape (versión 3.8.2).

Disimilitud de las redes de interacción de especies

Para analizar las interacciones entre plantas en floración y visitantes florales en los dos tipos de vegetación y estaciones, se estimó la disimilitud de las redes de interacción (Poisot *et al.*, 2012). Se calcularon los componentes de la diversidad beta (β_{WN}): el recambio (β_{ST}) y el recableado de las interacciones (β_{os}) en especies compartidas entre estaciones y tipos de vegetación. El índice de disimilitud está dado por $(\beta_{ST}/\beta_{WN}) \times 100$. El índice de disimilitud oscila entre 0 y 100, donde valores $> 50 \%$ indican alto recambio de especies, lo que significa que existen diferencias en la composición de especies y en las interacciones entre redes. Valores $< 50 \%$ indican un bajo recambio de especies y una mayor influencia de la reconfiguración de las interacciones entre especies. Para calcular todas las comparaciones utilizamos el paquete “betalink” con el método “commondemon”, implementado en la software R (versión 4.2.1) (Dormann *et al.*, 2008, 2009, Oksanen *et al.*, 2013).

RESULTADOS

Diversidad de especies de plantas en floración y visitantes florales

Durante el año de muestreo se registró un total de 96 especies de plantas en floración, de las cuales se lograron identificar un total de 83 (86.45%) y 13 morfoespecies (13.54%) donde se incluyen 65 géneros y 36 familias. De las cuales, 39 especies pertenecen al bosque deciduo en lluvias, 19 especies al bosque deciduo en secas, 41 especies al bosque semideciduo en lluvias y 16 especies al bosque semideciduo en secas. Se identificaron 137 morfoespecies de visitantes florales, de las cuales 79 (57.66 %) fueron identificadas a nivel de especie y 58 (42.33 %) fueron identificadas como morfoespecies e incluyen 58 géneros y 22 familias. En la temporada de lluvias se registraron 68 morfoespecies en el bosque deciduo y 70 en el bosque semideciduo. En la temporada seca, se registraron 24 morfoespecies en bosque deciduo y 38 en bosque semideciduo.

La diversidad de plantas en floración y visitantes florales varió entre tipos de vegetación y temporadas. Encontramos mayor riqueza y abundancia de visitantes florales que de plantas en floración. La riqueza (Q0) de las especies de plantas en floración difirió entre las temporadas y entre los tipos de vegetación siendo mayor en el bosque semideciduo durante la temporada lluviosa y durante la temporada seca fue mayor en el bosque deciduo. La abundancia (Q1) también difirió entre temporadas y tipos de vegetación siendo el bosque semideciduo durante la temporada seca y lluviosa donde hubo especies más abundantes en comparación con el bosque deciduo en ambas temporadas. En el caso de la dominancia encontramos el mismo patrón que en la abundancia, hubo más especies dominantes en el bosque semideciduo durante las dos temporadas en comparación con el bosque deciduo (Tabla 1). Para el caso de los visitantes florales encontramos que la riqueza de especies (Q0) fue mayor durante la temporada de lluvias en ambos tipos de vegetación; sin embargo, durante la temporada seca, el bosque semideciduo presentó una mayor riqueza en comparación con el bosque deciduo. Al incluir la abundancia encontramos diferencias entre tipos de vegetación y temporada siendo el bosque semideciduo mayor durante las temporadas lluviosa y

seca a diferencia del bosque deciduo. La dominancia (Q_2) de visitantes florales fue mayor durante la temporada lluviosa y seca en el bosque semideciduo en comparación con el bosque deciduo (Tabla 1).

Tabla 1. Diversidad de especies de visitantes florales y plantas en floración en dos tipos de vegetación durante la temporada de lluvias y secas. Q_0 = Riqueza de especies. Q_1 = Abundancia de especies. Q_2 = Dominancia de especies.

	Tipo de vegetación	Temporada	Q_0	Q_1	Q_2
Plantas en floración	Bosque deciduo	Lluvias	39.00	13.31	6.24
	Bosque deciduo	Secas	19.00	8.10	3.83
	Bosque semideciduo	Lluvias	41.00	17.48	7.59
	Bosque semideciduo	Secas	16.00	13.29	10.95
	Bosque semideciduo				
Visitantes florales	Bosque deciduo	Lluvias	68.00	17.16	5.79
	Bosque deciduo	Secas	24.00	4.76	2.61
	Bosque semideciduo	Lluvias	70.00	19.39	8.46
	Bosque semideciduo	Secas	38.00	7.00	4.81
	Bosque semideciduo				

Al analizar la diversidad beta, encontramos seis especies de plantas en floración compartidas entre los dos tipos de vegetación. Al incluir las temporadas encontramos siete especies de plantas con flor compartidas en la temporada de lluvias en los dos tipos de vegetación sin embargo no encontramos ninguna especie compartida durante la temporada seca en ningún tipo de vegetación. El bosque semideciduo en lluvias compartió menos especies con el bosque deciduo en lluvias ($BC=0.98$), con el bosque deciduo en secas ($BC=0.96$) y con el bosque semideciduo en lluvias ($BC=0.93$) mientras que el bosque deciduo en lluvias compartió más especies con bosque deciduo en secas ($BC=0.79$) y con el bosque semideciduo en lluvias ($BC=0.84$). Encontramos la separación de dos grupos principales,

determinados por el tipo de vegetación y la temporada. Tanto las parcelas de bosque deciduo como las de bosque semideciduo se agruparon entre sí, independientemente de la temporada. El bosque deciduo presentó menores valores de disimilitud mientras que el bosque semideciduo presentó mayores valores de disimilitud. Este patrón se confirma con el resultado del permanova donde se observaron diferencias significativas en la composición de especies de plantas en floración entre tipos de vegetación (bosque deciduo y bosque semideciduo), entre temporadas (lluvias y seca) y en su interacción (bosque deciduo lluvias, bosque deciduo secas, bosque semideciduo lluvias y bosque semideciduo secas) (Fig. 1) (Tabla 2).

Treinta y cinco especies de visitantes florales se compartieron entre los dos tipos de vegetación y 9 especies de visitantes compartidas en los dos tipos de vegetación en las dos temporadas. El bosque semideciduo en lluvias compartió menos especies con el bosque deciduo en lluvias (BC=0.64), con el bosque deciduo en secas (BC=0.54) y con el bosque semideciduo en lluvias (BC=0.58) mientras que el bosque deciduo en lluvias compartió más especies de visitantes florales con el bosque deciduo en secas (BC=0.41) y con el bosque semideciduo en lluvias (BC=0.38). Encontramos patrones claros de similitud en la composición de visitantes florales entre los distintos tipos de vegetación y temporadas. A diferencia de las especies de plantas el agrupamiento se da por las temporadas y no por el tipo de vegetación. Al realizar la permanova encontramos diferencias significativas únicamente entre temporadas (lluvias y seca). No encontramos diferencias significativas entre tipos de vegetación (bosque deciduo y bosque semideciduo) y en su interacción (bosque deciduo lluvias, bosque deciduo secas, bosque semideciduo lluvias y bosque semideciduo secas) (Fig. 1) (Tabla 2).

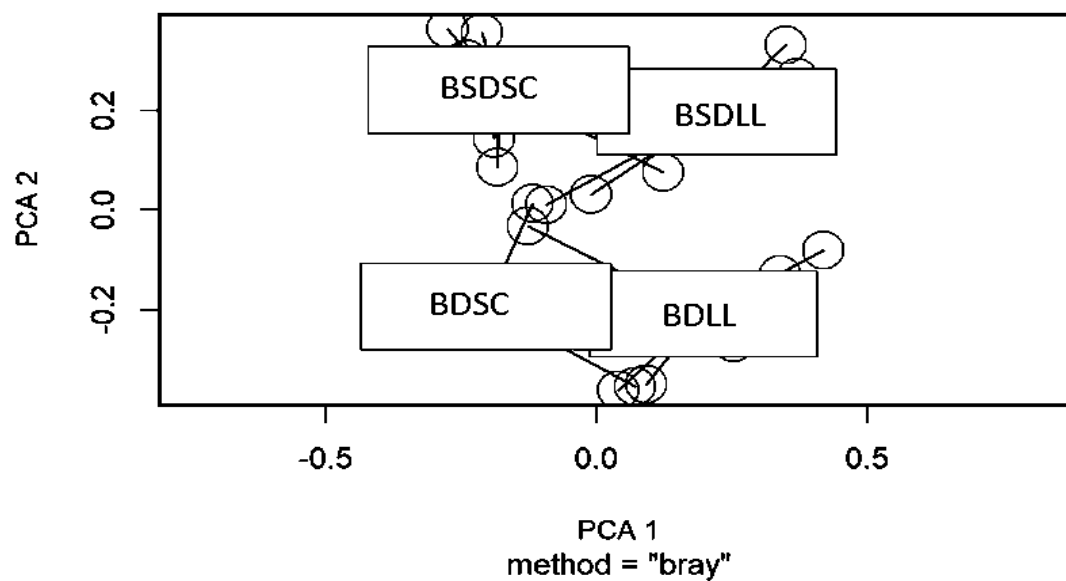
Tabla 2. Permanova no paramétrico basado en distancias Bray-Curtis para las especies de plantas en floración y visitantes florales en dos tipos de vegetación (bosque deciduo y bosque semideciduo), dos estaciones (seca y lluviosa) y su interacción

Especies de plantas en floración					
Factor	Df	SS	R2	F	Pr(>F)

Estación	1	0.8912	0.08391	2.2479	0.001 ***
Vegetación	1	1.0915	0.10276	2.7532	0.001 ***
estación:vegetación	1	0.7096	0.06681	1.7899	0.003 **
Residual	20	7.9287	0.74652		
Total	23	10.6209	1.00000		

Especies de visitantes florales					
Factor	Df	SS	R2	F	Pr(>F)
Estación	1	0.6008	0.10279	2.1156	0.017 *
Vegetación	1	0.4753	0.08132	1.6738	0.074
estación:vegetación	1	0.2249	0.03848	0.7920	0.641
Residual	16	4.5436	0.77740		
Total	19	5.8447	1.00000		

a) Plantas en floración



b) Visitantes florales

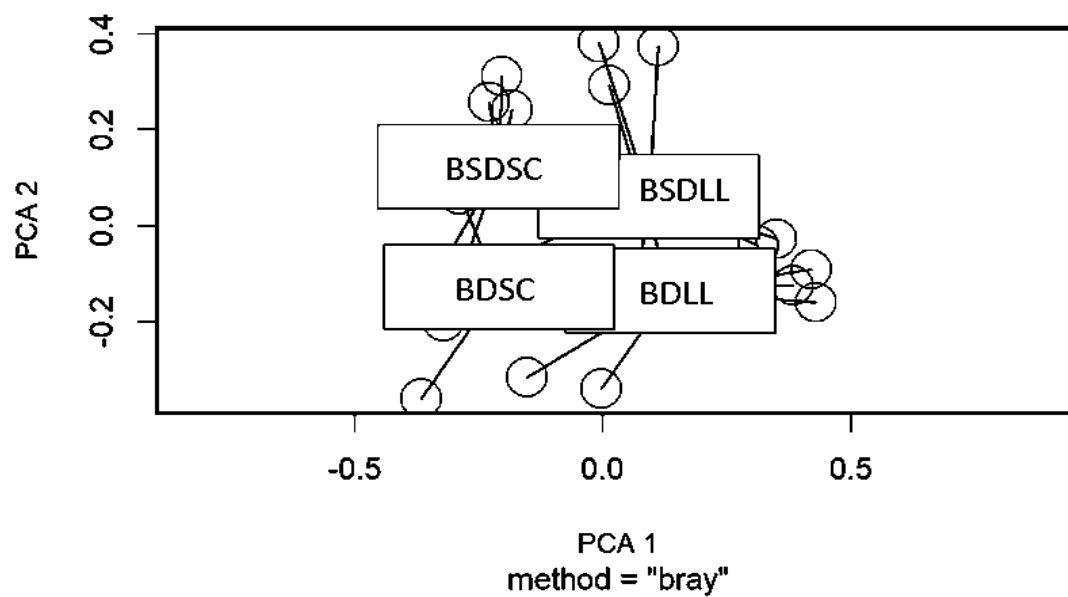


Figura 1. Efecto del tipo de vegetación y la estación (BDLL-bosque deciduo lluvias, BDSC-bosque deciduo secas, BSDLL-bosque semideciduo lluvias y BSDSC-bosque semideciduo secas) sobre la diversidad beta de especies plantas en floración y visitantes florales. Cada punto representa la distancia media no euclidiana de las especies de plantas en floración y visitantes florales en una fecha de muestreo particular en relación con el centroide de todos los muestreos en los dos primeros componentes del PCA.

Fenología

La riqueza de especies de plantas en floración y visitantes florales fue mayor durante la temporada lluviosa en ambos tipos de vegetación (Fig.2). La fecha promedio de floración y de actividad de los visitantes florales fue significativa en los dos tipos de vegetación (bosque deciduo-plantas en floración: $p= 0.00010754$, $ro= 0.33381926$; bosque deciduo-visitantes florales: $p= 1.20E-13$, $ro= 0.50424952$, bosque semideciduo-plantas en floración: $p= 1.80E-07$, $ro= 0.40224073$; bosque semideciduo-visitantes florales: $p= 7.70E-09$, $ro= 0.32306573$). Estos resultados indican que la floración y la actividad de los visitantes florales no se distribuyen de manera uniforme a lo largo del año, sino que se concentran en un periodo específico, correspondiente a la temporada de lluvias. Al incorporar la abundancia, se observó un patrón distinto, caracterizado por la presencia de dos periodos a lo largo del año en los que se registraron los valores más altos. En el caso de las plantas en floración, la abundancia siguió un patrón similar al observado para la riqueza, con valores mayores durante la temporada de lluvias en ambos tipos de vegetación (Fig.2). La fecha promedio de floración fue significativa en los dos tipos de vegetación (bosque deciduo: $p= 2.75E-50$, $ro= 0.5553605$; bosque semideciduo: $p= 2.90E-33$, $ro= 0.56462757$). En contraste, la abundancia de los visitantes florales presentó un patrón diferente, variando entre temporadas y entre cada sitio, lo que evidencia dos momentos del año en los que ocurre la mayor abundancia de visitantes florales. La fecha promedio de actividad de los visitantes florales también fue significativa (bosque deciduo: $p= 1.09E-58$, $ro= 0.40998503$; bosque semideciduo: $p= 6.51E-29$, $ro= 0.20165605$); sin embargo, en este caso, la

concentración de la abundancia se presentó principalmente durante la temporada seca (Fig.2).

Se observó una variación espacio-temporal en la riqueza y abundancia de especies en floración y de visitantes florales en ambos tipos de vegetación. Durante la temporada lluviosa la riqueza de visitantes florales es constante siendo julio y agosto los meses donde hubo mayor número de especies en la bosque deciduo y octubre y agosto los meses con mayor actividad en el bosque semideciduo. El mismo patrón se observó en las plantas. Durante la temporada seca la riqueza de especies disminuyó siendo diciembre el mes donde reportamos el mayor número de especies de plantas en floración en el bosque deciduo y abril y marzo los meses donde se registraron mayor número de plantas con flor. (Fig. 2).

En el bosque deciduo, los meses de julio, octubre y enero presentaron la mayor abundancia de visitantes florales. Al comparar estos registros con los picos de floración, se encontró que julio y octubre también fueron los meses con mayor abundancia de plantas en floración. Estos picos coinciden con la temporada de lluvias. En contraste, durante la temporada seca, el bosque deciduo mostró una disminución tanto en la riqueza como en la abundancia de especies de plantas en floración y de visitantes florales siendo enero el mes donde hay mayor abundancia de plantas con flor y actividad de visitantes florales (Fig. 2).

En el bosque semideciduo agosto y septiembre fueron los meses donde hubo mayor abundancia de plantas en floración. Meses que coinciden con la temporada lluviosa. Durante la temporada seca hubo una disminución en el número de especies y número de individuos de plantas con flor. Siendo marzo y abril los meses con mayor presencia de recursos florales en esa temporada (Fig. 2). Al contrastar la disponibilidad de recursos florales a lo largo de un año estacional con la actividad de visitantes florales se observaron dos picos de actividad muy notorios a diferencia del bosque deciduo. Durante la temporada lluviosa la riqueza y abundancia de visitantes florales es constante siendo octubre y agosto los meses con mayor actividad. Durante la temporada seca la riqueza de especies disminuyó, pero la abundancia aumentó a pesar de existir pocos individuos de plantas con flor. Siendo

abril (12 especies y 254 individuos) y mayo (9 especies y 213 individuos) los meses donde se presenta el segundo pico de actividad de visitantes florales (Fig. 2).

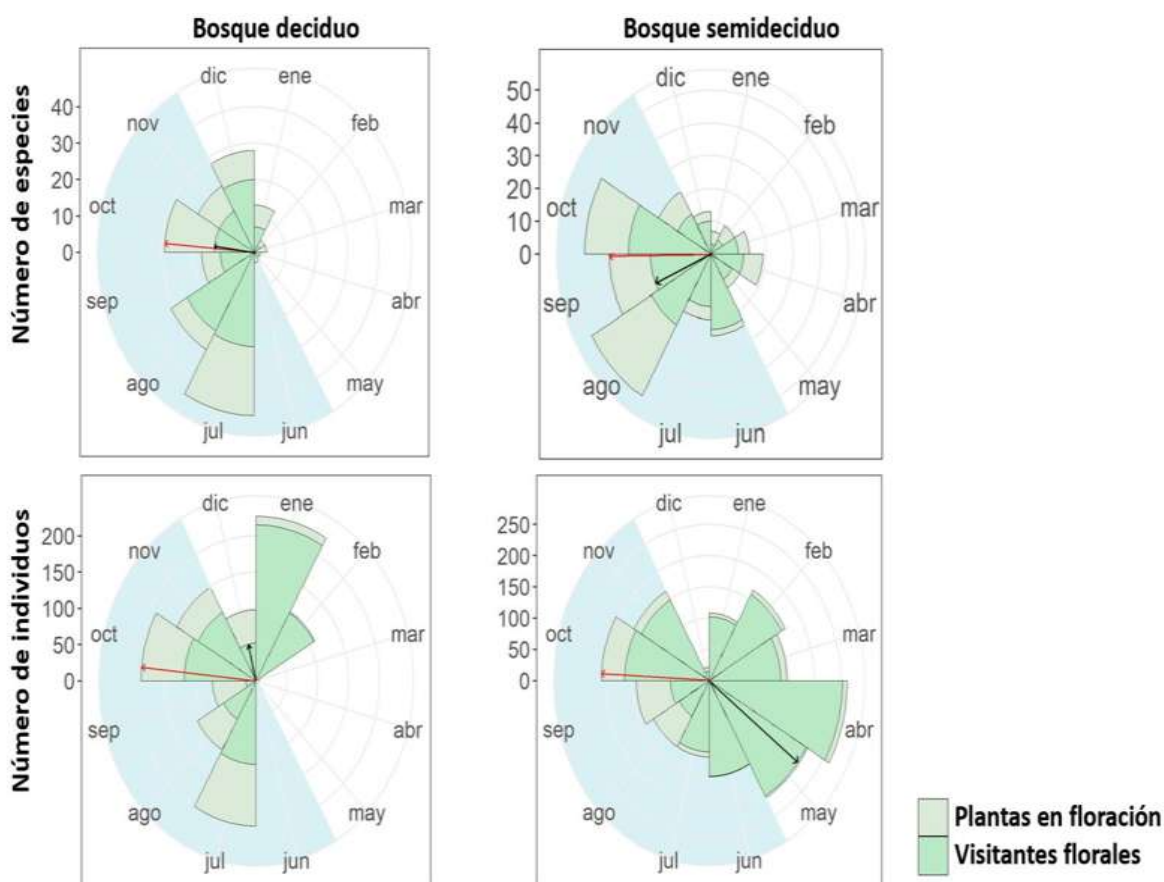


Figura 2. Fenologías de floración y visitantes florales de junio 2024 a mayo 2025 en dos tipos de vegetación (Bosque deciduo y Bosque semideciduo) en un bosque seco. Las figuras superiores fueron elaboradas utilizando datos de riqueza de especies, mientras que las figuras inferiores se basaron en datos de abundancia. Las flechas indican el ángulo medio, la dirección y la fecha promedio de floración (flechas rojas) y fecha promedio de la presencia de visitantes florales (flechas negras). Las áreas sombreadas en azul corresponden a la temporada de lluvias (junio-noviembre) y las áreas no sombreadas representan la temporada seca (diciembre-mayo).

Redes de interacción

Se registraron un total de 2393 interacciones. Las redes en la temporada lluviosa fueron menos anidadas, más especializadas y menos conectadas en los dos tipos de vegetación. A diferencia de la temporada seca donde las redes fueron más anidadas, más generalistas y más conectadas en los dos tipos de vegetación (Fig. 3). El número de plantas con flores y visitantes florales fue mayor durante la temporada lluviosa. Sin embargo, durante la temporada seca se observó una disminución en la riqueza de especies y un aumento en la abundancia teniendo un efecto significativo en la estructura de la red del bosque semideciduo. En particular, este aumento en la abundancia se tradujo en un mayor peso de la red, reflejado un incremento en la frecuencia y la intensidad de las interacciones planta–visitante floral, alcanzando valores superiores a los registrados en las redes correspondientes a ambos tipos de vegetación durante la temporada de lluvias (Tabla 3).

La abundancia de las plantas con flor fue mayor durante la temporada lluviosa para la mayoría de las formas de vida en cada tipo de vegetación excepto las enredaderas que fueron más abundantes únicamente en el bosque semideciduo en temporada seca. También se reportó nula presencia de epifitas en floración en ningún tipo de vegetación ni en ninguna temporada. En cuanto a las interacciones (peso de la red), las especies de todas las formas de crecimiento tuvieron una mayor interacción durante la temporada lluviosa a diferencia de la temporada seca; sin embargo, hubo mayor peso de la red en la red de bosque semideciduo durante la temporada seca siendo los árboles (23.25 %), arbustos (23.25%) y las enredaderas (37.20%) las formas de crecimiento que tuvieron una mayor interacción con los visitantes florales (Fig. 3).

Tabla 3. Métricas de las redes construidas para cada tipo de vegetación durante las dos temporadas en un Bosque Tropical Seco. Los valores en negritas indican que las métricas se desvían significativamente de las predicciones del modelo nulo ($p < 0.005$). Los valores de Z positivos (a) y negativos (b) indican que las métricas de la red empírica fueron mayor o menor que las métricas obtenidas por el modelo nulo.

	Selva decidua		Bosque semidecíduo	
Métricas	lluvias	Secas	lluvias	secas
Tamaño de red	91	33	91	50
Peso de la red	418	375	542	1029
Número de visitantes florales	68	24	68	38
Número de especies de plantas en flor	23	9	23	12
Especialización (H2)	0.67^a	0.49^a	0.61^a	0.40^a
Conectancia	0.07^b	0.18^b	0.08^b	0.20^b
Anidamiento cualitativo (NODF)	21.10	23.99	14.62	36.21
Anidamiento cuantitativo (WNODF)	5.41	9.43	5.86	23.35
Generalidad (Visitantes florales)	2.66	1.94	2.58	4.58
Vulnerabilidad (plantas en flor)	8.19	2.92	4.	4.24

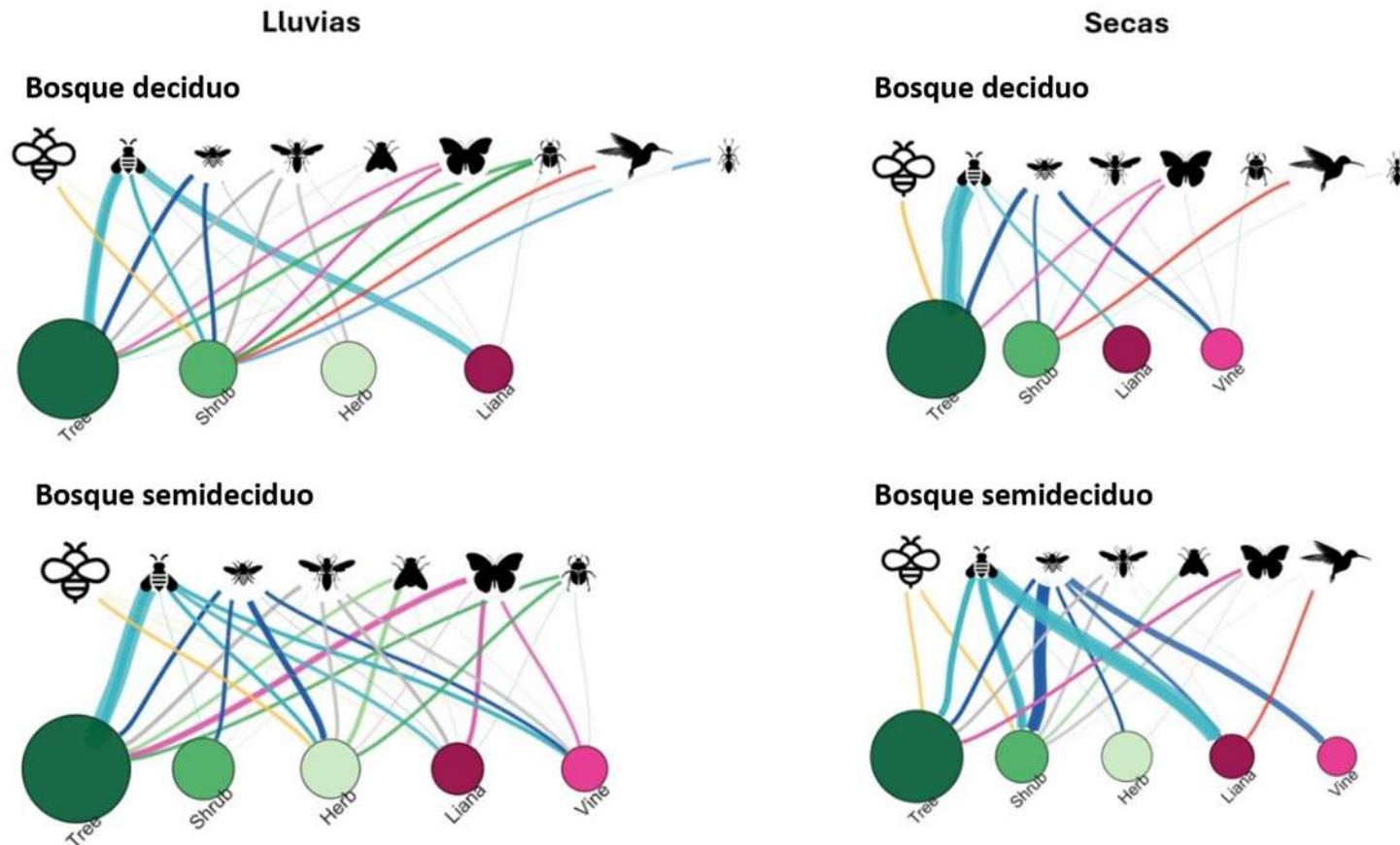


Figura 3. Redes de interacción planta-visitante floral en dos tipos de vegetación (bosque deciduo y bosque semideciduo) en la estación lluviosa (junio-noviembre) y seca (diciembre-mayo) de un bosque tropical seco. Los nodos del nivel superior representan los grupos funcionales de visitantes florales. Los nodos inferiores representan las formas de crecimiento de las plantas. El tamaño del círculo indica la abundancia de las plantas en floración. El ancho de cada enlace representa la fuerza de la interacción.

Disimilitud de las redes de interacción de especies

Se encontró una alta disimilitud de redes entre temporadas para cada tipo de vegetación (bosque deciduo en lluvias (BDLL) vs bosque deciduo en secas (BDSC)); (bosque semideciduo en lluvias (BSDLL) vs bosque semideciduo en secas (BSDSC)) y entre tipos de vegetación para cada temporada (bosque deciduo en lluvias (BDLL) vs bosque semideciduo en lluvias (BSDLL)); (bosque deciduo en secas (BDSC) vs bosque semideciduo en secas (BSDSC)). Las diferencias se relacionaron más por el recambio de las especies que por el recableado de las interacciones ($\beta_{ST}/\beta_{WN} > 50\%$) (Fig. 4).

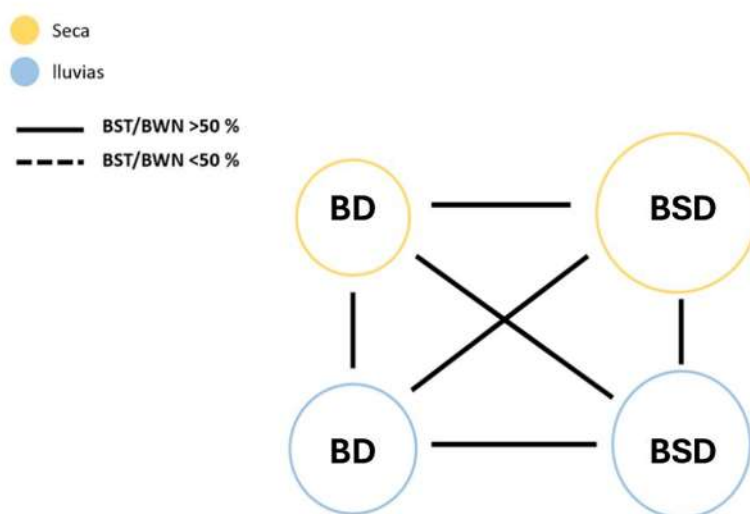


Figura 4. Influencia de los componentes de la diversidad beta en la estructura de la red de disimilitud (β_{ST}/β_{WN}). β_{ST} indica la disimilitud de las interacciones dada por el recambio de las especies y β_{WN} indica la disimilitud dada por el recableado de las interacciones. El tamaño del círculo indica el tamaño de la red. Las líneas continuas indican que la diferencia entre redes se debe al recambio de especies ($\beta_{ST}/\beta_{WN} > 50\%$) y las líneas punteadas indican diferencia entre las redes por el recableado de las interacciones ($\beta_{ST}/\beta_{WN} < 50\%$). El color de los círculos indica la estación. Amarillo para la estación seca y azul para la estación lluviosa. BD, bosque deciduo y BSD, bosque semideciduo.

DISCUSIÓN

En este estudio se evaluó el efecto de la estacionalidad en la estructura de las redes de interacción planta-polinizador en el bosque deciduo y el bosque semideciduo. Encontramos que la diversidad de plantas con flor fue mayor durante la temporada de lluvias tanto para bosque deciduo como para bosque semideciduo; sin embargo, encontramos que la abundancia y la dominancia fueron mayores en el bosque semideciduo durante la temporada seca a pesar de ser el sitio con menor número de especies. Para el caso de los visitantes florales encontramos mayor diversidad en el bosque semideciduo en comparación con el bosque deciduo en las dos temporadas. Con respecto a la fenología encontramos que la riqueza de especies, los picos de floración y la actividad de los visitantes florales se concentraron en un momento específico del año, el cual coincidió con la temporada lluviosa. Al incluir la abundancia encontramos el mismo patrón en el caso de las plantas con flor; sin embargo, los visitantes florales variaron entre temporadas y tipos de vegetación. Presentando dos momentos específicos del año donde hubo mayor abundancia. Uno en temporada lluviosa y otro durante la temporada seca. Las redes de interacción fueron más anidadas y especializadas durante la temporada lluviosa en ambos tipos de vegetación y menos anidadas y poco especializadas durante la temporada seca. Encontramos que la forma de vida de las plantas tiene un efecto en el número de interacciones distinto en cada tipo de vegetación.

Diversidad de especies de plantas en floración y visitantes florales

En nuestros resultados encontramos que la estacionalidad influye en la comunidad de plantas y visitantes florales. Reportamos la mayor diversidad de plantas en floración y visitantes florales durante la temporada lluviosa para ambos tipos de vegetación. Esto coincide con lo reportado ya que se sabe que la riqueza de especies en los bosques tropicales secos tiende a ser mayor durante la temporada lluviosa debido a que las condiciones ambientales son más húmedas propiciando que la vegetación sea más homogénea en cuanto a producción de hojas (Trejo, 1999) incrementando así la disponibilidad de recursos florales (Gallery, 2014; Mesa-

Sierra, 2020) para los diferentes grupos de visitantes florales que se alimentan de ellos (García-Atencia *et al.*, 2015; González-Ramírez *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2017). Durante la temporada seca, algunas plantas pierden sus hojas como respuesta a la pérdida de agua disminuyendo la producción de flores, néctar y polen disponibles para los diferentes grupos de polinizadores (Trejo, 1999; Cortés-Flores *et al.*, 2023). Esto coincidió con nuestros resultados ya que encontramos una disminución en la riqueza y abundancia tanto de plantas con flor como de visitantes florales; además encontramos poca representatividad de especies en el bosque deciduo. Encontramos que el tipo de vegetación tiene un efecto en la disponibilidad de recursos florales disponibles para los visitantes florales. En nuestros resultados encontramos que el bosque semideciduo en temporada seca mantuvo valores mayores de abundancia (Q1) y dominancia (Q2) pese a que fue el sitio menos diverso (Tabla 1), lo que sugiere que durante la temporada seca persistieron algunas especies dominantes como son *Combretum fruticosum*, *Vitex mollis*, *Pterocarpus orbiculatus* y *Exostema caribaeum* que sostienen la diversidad funcional. Las cuales son especies que presentan una floración masiva (Bernardello *et al.*, 1994; Cortés-Flores, 2017). Esto es muy relevante ya que debido a las condiciones ambientales del bosque semideciduo está favoreciendo el crecimiento de plantas particulares durante la temporada seca (Lozano-Peña *et al.*, 2019).

Al analizar la diversidad beta de las plantas con flor y los visitantes florales reportamos patrones diferentes. Encontramos que en las plantas con flor los valores de disimilitud son altos lo que indica que existe una alta diversidad beta y recambio entre las especies de plantas en floración entre tipos de vegetación y temporadas. *Caesalpinia pulcherrima*, *Cardiospermum grandiflorum*, *Commelina erecta*, *Commelina diffusa*, *Justicia mexicana*, *Manihot esculenta* y *Polistema guatemalensis* fueron las únicas especies que coincidieron en la temporada de lluvias en ambos tipos de vegetación. No hubo ninguna especie que coincidiera durante la temporada de secas en ningún tipo de vegetación (Tabla 2). Sin embargo, aunque el PERMANOVA detectó efectos significativos en el tipo de vegetación, la temporada y en su interacción, en el gráfico observamos que el agrupamiento se da

por el tipo de vegetación independientemente de la temporada y esto se debe a que se en los bosques tropicales estacionales el hábitat es un factor determinante de la composición florística que los cambios interanuales de precipitación (Pennington *et al.*, 2006; Quesada *et al.*, 2009).

Al analizar la diversidad beta de los visitantes florales encontramos un patrón distinto al de las plantas. Reportamos valores bajos de disimilitud lo que indica que hay menor recambio entre las especies de visitantes florales y por lo tanto más especies compartidas. *Apis mellifera*, Avispa 4, *Brachygastra mellifica*, *Euglosa sp*, Halictidae 1, *Trigona fulviventris*, *Trigona nigra*, *Xylocopa mexicanorum* y *Xylocopa sp2* fueron las especies presentes en ambos tipos de vegetación durante las dos temporadas. Las demás especies y morfoespecies se registraron al menos en una temporada y en algún tipo de vegetación (Tabla 1). Al tomar en cuenta el PERMANOVA encontramos que la temporada si afecta significativamente y que el agrupamiento se da por la temporada y no por el tipo de vegetación. La estacionalidad modifica la composición de los visitantes florales al alterar la disponibilidad de recursos florales (Wolda, 1988). Este patrón nos indica que a pesar de que exista un recambio entre las especies de plantas, las comunidades de visitantes florales tienden a tener mayor conectividad en comparación con las plantas y esto se debe a la capacidad de movilidad y dispersión de los visitantes florales (Tscharntke & Brandl, 2004; Baselga, 2010; Ollerton *et al.*, 2011).

Nuestros resultados sugieren que la diversidad de plantas con flor y visitantes florales fue mayor durante la temporada lluviosa en comparación con la temporada seca, demostrando el efecto de la estacionalidad en la disponibilidad de recursos florales y actividad de los visitantes florales. Sin embargo, el bosque semideciduo durante la temporada seca debe ser considerada como un tipo de vegetación clave dentro de los bosques tropicales secos, ya que contribuye al mantenimiento de algunas especies de plantas y visitantes florales cuando las condiciones climáticas son más limitadas.

Fenología

Los patrones fenológicos obtenidos indican que la floración y la actividad de los visitantes florales está fuertemente ligada a la variación espacio-temporal. La riqueza de plantas con flor y visitantes florales se concentraron principalmente durante la temporada de lluvias en ambos tipos de vegetación. Esto concuerda con lo reportado con otros estudios que muestran que las precipitaciones son el principal detonante de la floración y de la actividad de visitantes florales (Frankie *et al.*, 1974; Ramírez, 2006; Sousa *et al.*, 2018; Cortés-Flores *et al.*, 2023). En el bosque deciduo, la floración se concentró principalmente durante la temporada de lluvias, lo que refleja la marcada estacionalidad de este tipo de vegetación, caracterizada por una pérdida total del follaje y una fuerte limitación hídrica durante la estación seca (Murphy & Lugo, 1986; Borchert, 1994; Pennington *et al.*, 2006). En contraste, el bosque semideciduo presentó una floración más extendida a lo largo del ciclo anual, lo que indica mayor estabilidad fenológica asociada a su estructura vegetal; es decir la presencia de grupos particulares de plantas y a una mayor retención de humedad en el suelo. Estas diferencias estructurales y retención de humedad permiten la persistencia de recursos florales durante la estación seca y su función como refugio para visitantes florales cuando no hay recursos disponibles en el bosque deciduo (Quesada *et al.*, 2009; Dirzo *et al.*, 2011; Winfree *et al.*, 2011).

En cuanto a la actividad de los visitantes florales, encontramos un efecto asociado a la variación temporal más que espacial. En ambos tipos de vegetación, la abundancia de visitantes presentó picos bien definidos asociados a la estacionalidad, lo que concuerda con la idea de que la disponibilidad de recursos y las condiciones climáticas influyen fuertemente en la dinámica de estos organismos (Wolda, 1988). Sin embargo, la actividad de visitantes durante la temporada seca fue más evidente en el bosque semideciduo, lo que sugiere que este tipo de vegetación ofrece recursos florales suficientes para sostener la actividad de los visitantes cuando estos son escasos en el bosque deciduo.

Encontramos patrones contrastantes entre el bosque deciduo y el bosque semideciduo en la cual resaltamos la importancia de la heterogeneidad del paisaje para el mantenimiento de las interacciones entre las plantas y los visitantes florales. En el bosque deciduo se concentra la floración y actividad de los visitantes florales durante la temporada lluviosa mientras que el bosque semideciduo contribuye a la continuidad de los recursos florales y de la actividad de los visitantes florales a lo largo del año (Sanchez-Azofeifa *et al.*, 2005). Este desacople parcial entre los tipos de vegetación permite amortiguar los efectos de la estacionalidad climática sobre las comunidades de visitantes florales (Frankie *et al.*, 1974; Tschardt & Brandl, 2004).

Redes de interacción

Nuestros resultados muestran que la estructura de las redes de interacción está influenciada por la estacionalidad y el tipo de vegetación. Encontramos que la abundancia de algunas especies de plantas determinó el tamaño y el número de interacciones de las redes de interacción entre temporadas y entre tipos de vegetación. Durante la temporada de lluvias, ambos tipos de vegetación presentaron redes más complejas y con mayor número de interacciones, asociadas a una mayor diversidad de grupos funcionales, incluyendo abejas de distintos tamaños, mariposas, dípteros y colibríes, lo que refleja una mayor diversidad de estrategias de forrajeo y uso de recursos florales. El tipo de vegetación fue sumamente importante, particularmente durante la temporada seca. Reportamos que las redes del bosque semideciduo presentaron mayor número de interacciones y mayor conectancia que el bosque deciduo, lo que sugiere una mayor disponibilidad y diversidad de recursos florales, la cual está relacionada con la composición de la estructura vegetal, ya que el bosque semideciduo alberga una mayor proporción de árboles, arbustos y lianas o desfasadas respecto a la estacionalidad climática (Gentry, 1995; Schnitzer & Bongers, 2002). *Apis mellifera*, *Trigona Fulviventris*, *Trigona nigra* y *Centris aethycta* mantuvieron mayor interacción con plantas de la familia Lamiaceae, Fabaceae y Rubiaceae en el bosque semideciduo (ver figura 6 del ANEXO). Esto sugiere que este tipo de vegetación funciona como un refugio clave de recursos, favoreciendo la persistencia

de interacciones planta–visitante y aumentando la estabilidad de la red a lo largo del año (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2019; Sánchez-Galván *et al.*, 2020).

En contraste, el bosque deciduo, está dominada principalmente por especies deciduas y por formas de crecimiento sensibles a las sequías, como son los arbustos y las herbáceas, las cuales mostraron una reducción marcada en la red durante la temporada seca. Esto se debe a que estas formas de crecimiento concentran su floración principalmente en periodos cortos asociados al inicio de las lluvias, lo que limita la disponibilidad de recursos florales durante la estación seca (Borchert, 1994; Balvanera *et al.*, 2002). En contraste, durante la temporada seca encontramos mayor interacción con árboles y lianas, las cuales suelen ser visitadas por grupos funcionales más especializados, como abejas grandes, esfíngidos y aves nectarívoras. Esta asociación contribuye a redes más especializadas y menos anidadas, con menor redundancia funcional (Blüthgen *et al.*, 2006; Dormann *et al.*, 2009). *Apis mellifera*, abejas del género *Trigona*, *Xylocopa* y especies de la familia Halictidae son las especies que mantuvieron mayor interacción con plantas de la familia Convolvulaceae y Fabaceae en el bosque deciduo (ver figura 5 del ANEXO).

Asimismo, las lianas y algunos árboles perennifolios presentes en el bosque semideciduo pueden tener un efecto en el mantenimiento de las interacciones planta–polinizador durante periodos de escasez, al proveer recursos florales cuando otras formas de crecimiento reducen o cesan su actividad reproductiva (Schnitzer, 2005; Wright & Calderón, 2006). Esta heterogeneidad estructural favorece redes más robustas, con mayor redundancia funcional y menor vulnerabilidad ante fluctuaciones ambientales (Bascompte *et al.*, 2003; Dormann *et al.*, 2009).

En conjunto, estos resultados refuerzan la idea de que la estacionalidad, el tipo de vegetación y diversidad de formas de crecimiento vegetal, particularmente en el bosque semideciduo, contribuye como reservorio temporal de recursos mantenimiento la diversidad y estabilidad de las interacciones planta–visitante floral en los bosques tropicales secos, especialmente durante la temporada seca, cuando los recursos son limitados.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados muestran que la diversidad de plantas con flor y visitantes florales, la fenología de la plantas y actividad de los visitantes florales, así como las redes de interacción están fuertemente influenciadas por la estacionalidad y por el tipo de vegetación. La diversidad de plantas esta influenciada y estructurada por el tipo de vegetación evidenciando alto recambio en las especies de plantas mientras que la diversidad de visitantes florales esta influenciada por la temporalidad indicando poco recambio de especies.

La fenología floral y la actividad de los visitantes florales están fuertemente determinadas por la estacionalidad, con picos concentrados durante la temporada de lluvias. Sin embargo, estos patrones difieren entre tipos de vegetación, el bosque deciduo muestra una floración y actividad de visitantes marcadamente estacionales, mientras que el bosque semideciduo mantiene recursos florales y actividad biológica durante la temporada seca. Esta diferencia resalta la importancia de la heterogeneidad del paisaje, ya que el bosque semideciduo funciona como un refugio de recursos que amortigua los efectos de la estacionalidad y favorece la persistencia de las interacciones planta–visitante floral a lo largo del año.

Nuestros resultados muestran que la estacionalidad y el tipo de vegetación determinan la diversidad y la estructura de las interacciones planta–visitante floral en los bosques tropicales secos. La temporada lluviosa presentó los mayores valores de diversidad de plantas en flor, visitantes florales e interacciones, dando lugar a redes más complejas y anidadas, asociadas a una mayor disponibilidad de recursos florales. En contraste, durante la temporada seca, las redes se simplificaron y mostraron una mayor especialización, especialmente en el bosque deciduo, lo que sugiere una reducción en la redundancia funcional y una mayor vulnerabilidad del sistema. Sin embargo, el bosque semideciduo mantuvo una mayor diversidad de interacciones y grupos funcionales de visitantes florales durante este periodo, lo que indica que este tipo de vegetación funciona como un refugio clave de recursos florales bajo condiciones de escasez. Este estudio

demuestra que la conservación de distintos tipos de vegetación dentro de los bosques tropicales secos, particularmente del bosque semidecíduo, es fundamental para garantizar la persistencia de las interacciones planta-visitante floral frente a la marcada estacionalidad climática. La pérdida o degradación de estos componentes podría comprometer la estabilidad y funcionamiento ecológico de estos ecosistemas altamente estacionales.

LITERATURA CONSULTADA

Aguirre, N., Alvarado, J., Ruiz, L., y Granda, J. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), pp 118 – 130.

Arroyo-Rodríguez, V., et al. (2017). The impacts of tropical forest disturbance on plant–pollinator interactions. *Biological Reviews*, 92, 1545–1567.

Aguinda, J.T., Peñuela Mora, M.C. (2024). Diversity of visitors to the flowers of two palm species of the genus *Oenocarpus* in the Province of Napo, Ecuador. *Trees* 38, 915–926. doi.org/10.1007/s00468-024-02524-7

Aguilar, R., Cristóbal- Pérez, E. J., Balvino- Olvera, F. J., de Jesús Aguilar- Aguilar, M., Aguirre- Acosta, N., Ashworth, L., Lobo, J. A., Martén- Rodríguez, S., Fuchs, E. J., Sanchez- Montoya, G., Bernardello, G., & Quesada, M. (2019). Habitat fragmentation reduces plant progeny quality: A global synthesis. *Ecology Letters*, 22(7), 1163– 1173. <https://doi.org/10.1111/ele.13272>

Asher, J. S., y Pickering, J. 2013. Discover life bee species guide and world checklist (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila). http://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species

Ashworth, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R. y Oyama, K. (2009). Pollinator dependent food production in Mexico. *Biological Conservation*. 142. pp 1050-1057. 10.1016/j.biocon.2009.01.016.

Ayala R (2004) Fauna de Abejas Silvestres. In: García-Aldrete AN, Ayala R (eds) *Artrópodos de Chamela*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, pp 193–219.

Balvanera, P., et al. (2002). Patterns of β -diversity in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science*, 13, 145–158.

Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C. J., & Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *PNAS*, 100, 9383–9387.

Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: The architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38, 567–593. doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818

Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 134–143.

Barquero, Ana & Aguilar, Ingrid & Cartín, Ana Lucía & Hernández, Gustavo & Sánchez-Toruño, Henry & Montero-Flores, William & Herrera-González, Eduardo & Sánchez, Luis & Barrantes-Vásquez, Alejandra & Gutiérrez-Leitón, Milena & Mesén, Isaac & Garcia Bulle Bueno, Francisco. (2019). Association Between Stingless Bees (Apidae, Meliponini) and the Dry Forest Flora in the Northern Region of Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*. 53. 70-91. 10.15359/rca.53-1.4.

Batalha, M. A., & Martins, F. R. (2004). Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (Central Brazil). *Australian Journal of Botany*, 52(2), 149– 161. https://doi. org/10.1071/BT03098

Benítez, Á., Ortiz, J., Matamoros-Apolo, D., Bustamante, A., López, F., Yangua-Solano, E., & GuSBDán-Montalván, E. (2024). Forest Disturbance Determines Diversity of Epiphytic Lichens and Bryophytes on Trunk Bases in Tropical Dry Forests. *Forests*, 15(9), 1565. doi.org/10.3390/f15091565

BERNARDELLO L., GALETTO L., RODRIGUEZ I. G., (1994). Biología reproductiva, variabilidad de las características del néctar y polinización de *Combretum fruticosum* (Combretaceae) en Argentina, *Botanical Journal of the Linnean Society* , Volumen 114, Número 3,páginas 293–308, doi.org/10.1111/j.1095-8339.1994.tb01938.x

Blüthgen, N., Menzel, F., & Blüthgen, N. (2006). Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology*, 6, 9.

Borchert, R. (1996). Phenology and flowering periodicity of Neotropical dry forest species: Evidence from herbarium collections. *Journal of Tropical Ecology*, 12(1), pp 65-80. doi.org/10.1017/S0266467400009317

Borchert, R. (1994). Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75(5), 1437–1449.

Bullock, S. H., & Solís-Magallanes, J. A. (1990). Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica*, 22(1), 22–35. doi.org/10.2307/2388716

Blüthgen, N., Menzel, F., Hovestadt, T., Fiala, B., & Blüthgen, N. (2007). Specialization, constraints, and conflicting interests in mutualistic networks. *Current Biology*, 17(4), 341–346. doi.org/10.1016/j.cub.2006.12.039

Bustillo Tinoco, Lenin Josué and López Hernández, Eybram Humberto (2023) Frecuencia de visita de *Apis mellifera* en hierbas y arbustos del bosque seco durante los meses de marzo a septiembre del año 2021, unidad productiva Los Mandaguales y Torogomez, Matamoros, Tamaulipas. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria.

Ceballos, G., Szekely, A., García, A., Rodríguez, P., y Noguera, F. A. (1999.) Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Instituto Nacional De Ecología, SEMARNAP, México, D. F.

Challenger, A., y J. Soberón (2008). Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 87-108.

Chittka, L. (1996). Optimal sets of color receptors and color opponent systems for coding of natural objects in insect vision. *J Theoret Biol* 181:179-196. https://doi.org/10.1006/jtbi.1996.0124.

Chittka, Lars & Waser, Nickolas. (1997). Why red flowers are not invisible to bees. *Israel Journal of Plant Sciences*. 45. 169-183. 10.1080/07929978.1997.10676682.

Connell, J.H. (1978) Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310. http://dx.doi.org/10.1126/science.199.4335.1302

Cortés-Flores, J., Hernández-Esquivel, K. B., González-Rodríguez, A., & Ibarra-Manríquez, G. (2017). Flowering phenology, growth forms and pollination syndromes in a tropical dry forest species: Influence of phylogeny and abiotic factors. *American Journal of Botany*, 104, 39–49.

Cortés-Flores, J., Lopezaraiza-Mikel, M., de Santiago-Hernández, M. H., Martén-Rodríguez, S., Cristóbal-Pérez, E. J., Aguilar-Aguilar, M. J., y Quesada-Avendaño M. (2023). Successional and phenological effects on plant-floral visitor interaction networks of a tropical dry forest. *Journal of Ecology*, 111(4), 927-942.

Cristóbal-Pérez EJ, Barrantes G, Cascante-Marín A, Hanson P, Picado B, GamboaBarrantes N, et al. (2024) Elevational and seasonal patterns of plant pollinator networks in two highland tropical ecosystems in Costa Rica. *PLoS ONE* 19(1): e0295258. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295258>

Delgado-Carrillo, O. 2019. Servicios de polinización en el Bosque Tropical Seco. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 100 pp.

Del Val de Gortari, Ek. (2022). Redes de interacciones para el estudio de la biodiversidad. *Revista Digital Universitaria (rdu)*, 23(2), pp3-7. doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.9

De Santiago-Hernández M. H., Martén R. S., Lopezaraiza-Mikel M., Oyama K., González-Rodríguez A., Quesada M. (2019). The role of pollination effectiveness on the attributes of interaction networks: from floral visitation to plant fitness. *Ecology. Ecological society of America*. 111 (4), pp 927-942. doi: 10.1002/ecy.2803

Dirzo, R., Young, H. S., Mooney, H. A., & Ceballos, G. (2011). Seasonally dry tropical forests: Ecology and conservation. Island Press.

Dormann, C. F., B. Gruber, and J. Fründ. (2008). Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. *R News* 8:8 –11

Dormann, C. F., Fründ, J., Blüthgen, N., & Gruber, B. (2009). Indices, graphs and null models: Analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal*, 2, 7–24.

Dormann, C. F., Fründ, J., & Schaefer, H. M. (2017). Identifying causes of patterns in ecological networks: Opportunities and limitations. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 559–584. doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022928

Eamus, D. y Prior, L. (2001). Ecophysiology of trees of seasonally dry tropics: Comparisons among phenologies. En *Advances in Ecological Research*. Academic Press Inc. Vol. 32, pp. 113-197. doi.org/10.1016/s0065-2504(01)32012-3

Endress, P. K. 1994. Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Cambridge University Press, Cambridge. 511 pp.

Frankie, G. W., Baker, H. G., & Opler, P. A. (1974). Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, 62, 881–919.

Faegri, K., and L. Van Der Pijl. (1979). Principles of pollination ecology. The principles of pollination ecology. Pergamon Press, Oxford, UK.

García-Atencia, Sandy, Martínez-Hernández, Neis, & Pardo-Locarno, Luis Carlos. (2015). Escarabajos fitófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un fragmento de bosque seco tropical del departamento del Atlántico, Colombia. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(3), pp 754-763. doi.org/10.1016/j.rmb.2015.07.009

García-Oliva, F., Camou, A., & Maass, J. M. (2002). El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. Noguera, F. A, J. Vega, A. García-Aldrete y M. Quesada(editores) (en prensa). Historia natural del bosque caducifolio de Chamela. Instituto de Biología de la UNAM (PDF) El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano.

Gallery, R.E. (2014). Ecology of Tropical Rain Forests. In: Monson, R. (eds) Ecology and the Environment. The Plant Sciences, vol 8. Springer, New York, NY. doi.org/10.1007/978-1-4614-7501-9_4

Gentry, A. H. (1995). Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. Seasonally Dry Tropical Forests, 146–194.

Gonçalves, G. S. R., Cerqueira, P. V., Brasil, L. S., & Santos, M. P. D. (2017). The role of climate and environmental variables in structuring bird assemblages in the Seasonally Dry Tropical Forests (BDTFs). PloS one, 12(4), e0176066. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176066

González-Ramírez, Mireya, Zaragoza-Caballero, Santiago, & Pérez-Hernández, Cisteil Xinum. (2017). Análisis de la diversidad de Coleoptera en el bosque tropical caducifolio en Acahuizotla, Guerrero, México. Revista mexicana de biodiversidad, 88(2), pp 381-388. doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.008

Griscom, H. P., E. K. V. Kalko, and M. S. Ashton. 2007. Frugivory by small vertebrates within a deforested, dry tropical region of Central America. Biotropica 39: 278–282.

Hoehn, P., Tschamtkke, T., Tylianakis, J. M., & Steffan-Dewenter, I. (2008). Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. Proceedings of the Royal Society 1 B: Biological Sciences, 275(1648), pp 2283-2291.

INEGI 2005a. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1: 250 000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.

Janzen, D. H. 1983. Insects: Introduction. Costa Rican Natural History, 619–644. University of Chicago, Chicago, Illinois, USA

Jiménez González, Alfredo, Cedeño Llor, María José, Vera Salazar, Laleshka Michelle, & Rosete Blandariz, Sonia. (2021). Characterization of melliferous species

in the tropical dry forest oriented to their conservation. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9 (3), pp 377-394.

Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharrntke T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc Biol Sci*; 274(1608):303-13. doi: 10.1098/rspb.2006.3721.

Lott E. J. (1985). Listados florísticos de México. Instituto de Biología UNAM. pp. 27

Lott EJ (2002) Lista anotada de las plantas vasculares de Chamela-Cuixmala. In: Noguera FA, Vega-Rivera JH, García-Aldrete AN, Quesada M (eds) *Historia natural de Chamela*. UNAM, México, pp 99–136

Lozano-Peña S, Vásquez-MoscOSO CA, Rivera-Rondon CA, Zapata AM, Ortiz-Moreno ML. (2019) Efecto de la vegetación riparia sobre el fitoperifiton de humedales en la Orinoquía colombiana. *Acta biol. Colomb.*;24(1): pp 67-85. doi.org/10.15446/abc. V24n1.69086

Martínez-Yrizar, A., & Sarukhán, J. (1990). Litterfall patterns in a tropical deciduous forest in Mexico over a five-year period. *Journal of Tropical Ecology*, 6(4), 433–444. doi.org/10.1017/S0266467400004899

Martínez-Meneses, Angie Lisseth, & Torres-González, Alba Marina. (2020). Polinización efectiva de flores ornitófilas en un bosque de niebla de Colombia. *Ciencia en Desarrollo*, 11(2), pp 53-63. doi.org/10.19053/01217488.v11.n2.2020.10466

Medel R., Aizen M A. & Zamora R. (2009). *Ecología y evolución de las interacciones planta animal: conceptos y aplicaciones*. Editorial Universitaria (Santiago, Chile). pp. 17-4.

Mesa-Sierra, Natalia, Escobar, Federico y Laborde, Javier. (2020). Evaluación de la diversidad forestal en la región tropical estacionalmente seca del Golfo de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e913175. doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3175

Miranda, F. y E. Hernandez X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Mex. 28:29-179.

Michener, C. D. (2007). The bees of the world. Second edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA.

Mooney HA, Bullock SH, Medina E (1995) Introduction. En Bullock SH, Mooney HA Medina E (Eds.) Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge University Press, Cambridge, RU. pp 1-8.

Morellato, LPC, Alberti, LF y Hudson, IL (2010). Aplicaciones de la estadística circular en la fenología vegetal: Un enfoque de estudio de caso. En IL Hudson y MR Keatley (Eds.), Investigación fenológica: Métodos para el análisis del cambio ambiental y climático pp. 339-359

Murphy, P. G., & Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. Annual Review of Ecology and Systematics, 17, 67–88. doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.000435

Narbona E. & Dirzo R. (2010). A reassessment of the function of floral nectar in *Croton suberosus* (Euphorbiaceae): A reward for plant defenders and pollinators. American Journal of Botany, 97(2), pp 365–373. doi.org/10.3732/ajb.0900259

Nuttman, C. V., F. M. Semida, S. Zalut, and P. G. Willmer. (2006). Visual cues and foraging choices: bee visits to floral color phases in *Alkanna orientalis* (Boraginaceae). Biol J Linnean Soc 87: pp 427-35. doi.org/10.1111/j.1095-8312.2006.00582.x.

Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals. Oikos, 120(3), pp 321-326.

Oksanen J , Blanchet GF , Kindt R , Legendre P , Minchin PR , O'Hara RB , Simpson GL , Solymos P , Stevens MHH , Wagner H. (2020). vegan: paquete de ecología comunitaria. Paquete R versión 2.5-6 software

Oliveira, R., Schlindwein, C., & GottBDerger, G. (2019). Flowering phenology and pollination systems in tropical dry forests. *Journal of Tropical Ecology*, 35, 123–135.

Parra-Tabla, V., (2015). Ecología y evolución de las interacciones bióticas del Val E. & Boege K. 2012. Fondo de Cultura Económica, CIECO, UNAM, México, DF 275 p. *Revista de Biología Tropical* , 63 (1), 313-317.

Pennington, T. D., Prado, D. E., & Pendry, C. A. (2000). Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, 27(2), 261–273. doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00397.x

Pennington, R. T., Lewis, G. P., & Ratter, J. A. (2006). Neotropical savannas and seasonally dry forests: Plant diversity, biogeography, and conservation. CRC Press.

Poorter, L., & Markesteijn, L. (2008). Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species. *Biotropica*, 40(3), pp 321-331. doi: 10.1111/j.1744-7429.2007.00380.x

RZEDOWSKI, J. (1978). *Vegetación de México*. México, Limusa.

Sánchez-Azofeifa, G. A., Quesada, M., Rodríguez, J. P., et al. (2005). Research priorities for Neotropical dry forests. *Biotropica*, 37(4), 477–485.

Sánchez-Azofeifa, G.A., Quesada, M., Cuevas-Reyes, P., Castillo, A., y Sánchez-Montoya, G. (2009). Land cover and conservation in the area of influence of the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Mexico. *For. Ecol. Manag., Ecology and regeneration of tropical dry forests in the Americas: Implications for management* 258, pp 907–912. doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.030

Saenz-Pedroza I., Ramírez-Díaz C. J., Manjarrez J. y Zepeda-Gómez C. (2022). Bosque tropical seco: entre lluvias, secas y humanos. *Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.* 14: pp 5–10.

Sarmiento-Cordero, M. A., Ramírez García, E., Ramos Contreras, A., Sarmiento-Cordero, M. A., Ramírez García, E., y Ramos Contreras, A. 2010. Diversidad de la

familia Syrphidae (Diptera) en la Estación Biológica “Chamela”, Jalisco, México. *Dugesiana* 17: pp 197–207.

Schnitzer, S. A., & Bongers, F. (2002). The ecology of lianas and their role in forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(5), 223–230.

Schnitzer, S. A. (2005). A mechanistic explanation for global patterns of liana abundance and distribution. *The American Naturalist*, 166(2), 262–276.

Sousa, W.P. (2001). Natural disturbance and the dynamics of marine benthic communities. In *Marine Community Ecology*, Ed. M.D. Bertness, S.D. Gaines, and M.E. Hay. Sinauer Association Sunderland.

Souza, C. S., Maruyama, P. K., Aoki, C., Sagrist, M. R., Raizer, J., Gross, C. L., & de Araujo, C. (2018). Temporal variation in plant– pollinator networks from seasonal tropical environments: Higher specialization when resources are scarce. *Journal of Ecology*, 106(6), 2409– 2420. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12978>

Stebbins, G. L. (1970). Adaptive Radiation of Reproductive Characteristics in Angiosperms, I: Pollination Mechanisms. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1, pp 307–326.

Trejo I. y Dirzo Rodolfo (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, Volume 94, Issue 2. pp 133-142. [doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00188-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00188-3).

Trejo, I. y R. Dirzo. 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11: pp 2063-2048.

Trejo Vázquez, Irma. (1999). El clima de la bosque deciduo caducifolia en México. *Investigaciones geográficas*, (39), 40-52.

Tscharntke, T., & Brandl, R. (2004). Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology*, 49, 405–430.

Quezada-Eúan, José Javier G, y G., José Javier (2009). Potencial de las abejas nativas en la polinización de cultivos. *Acta Biológica Colombiana*, 14 (2), pp 169-172.

Quesada, M., Sánchez-Azofeifa, G. A., Alvarez-Añorve, M., Stoner, K. E., Avila-Cabadilla, L., Calvo-Alvarado, J. C., ... Castillo, A. (2009). Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 1014–1024. doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.023

Quesada M, et al. (2014) Tropical Dry Forest Ecological Succession in Mexico: Synthesis of a Long-Term Study in Sanchez-Azofeifa, A., Powers, J. S., Fernandes, G. W., & Quesada, M. (Eds.). *Tropical dry forests in the Americas: ecology, conservation, and management*. CRC Press.

Vázquez, D. P., Blüthgen, N., Cagnolo, L., & Chacoff, N. P. (2009). Uniting pattern and process in plant–animal mutualistic networks: a review. *Annals of Botany*, 103(9), 1445–1457. doi.org/10.1093/aob/mcp057

Wolda, H. (1988). Insect seasonality: Why? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 19, 1–18.

Winfree, R., Bartomeus, I., & Cariveau, D. P. (2011). Native pollinators in anthropogenic habitats. *Ecology Letters*, 14, 540–547.

Wright, S. J., & Calderón, O. (2006). Seasonal, El Niño and longer term changes in flower and seed production. *Journal of Ecology*, 94, 925–940.

Yuen YW, Byers JRP, Bradshaw HD (2014). El control genético de la especificidad flor-polinizador. *Current Opinion in Plant Biology* 16: pp 422-428

ANEXOS

BOSQUE DECIDUO

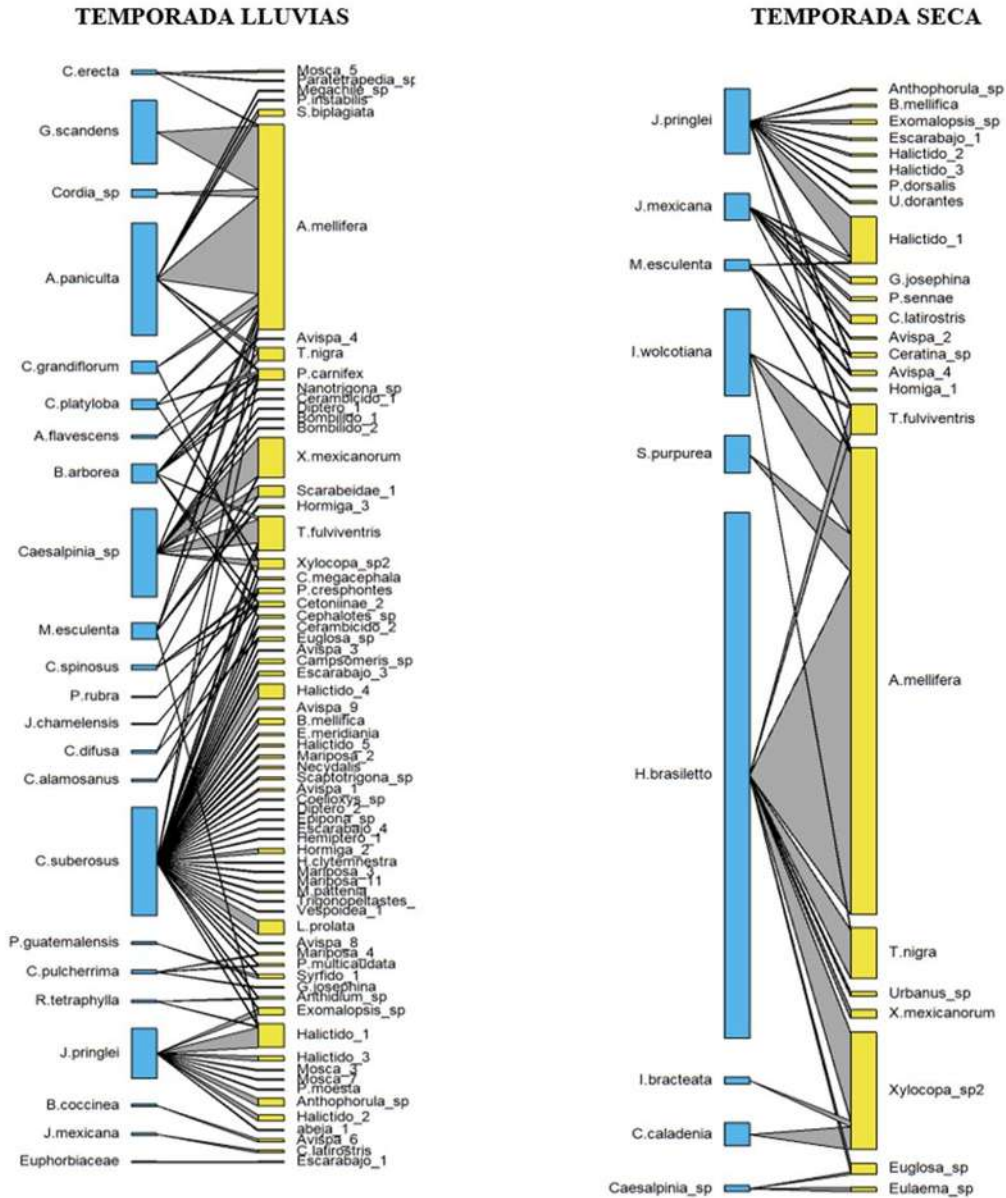
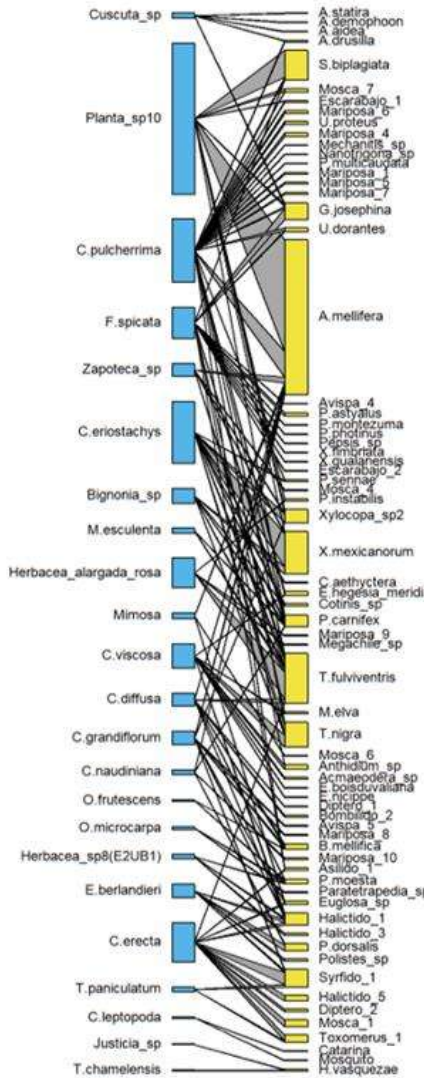


Figura 5. Redes de visitantes florales y plantas en floración en el bosque deciduo durante la temporada de lluvias (junio 2024-noviembre-2024) y temporada seca (diciembre 2024-mayo 2025). Los nodos color azul representan las especies de visitantes florales mientras que los nodos color amarillo representan las especies de plantas en floración. El ancho de cada enlace representa la intensidad de la interacción.

BOSQUE SEMIDECIDUO

TEMPORADA LLUVIAS



TEMPORADA SECA

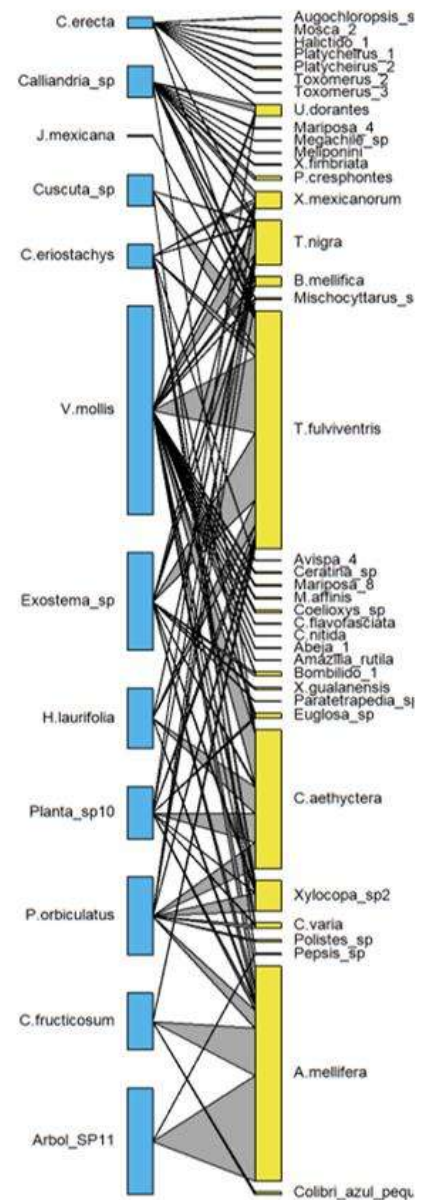


Figura 6. Redes de visitantes florales y plantas en floración en el bosque semideciduo durante la temporada de lluvias (junio 2024-noviembre-2024) y temporada seca (diciembre 2024-mayo 2025). Los nodos color azul representan las especies de visitantes florales mientras que los nodos color amarillo representan las especies de plantas en floración. El ancho de cada enlace representa la intensidad de la interacción.

Diana Abarca Solorio

Variación espacio-temporal de las redes de interacción planta-visitante floral del Bosque Tropical Seco.pdf

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:558948178

Fecha de entrega

20 feb 2026, 9:13 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

20 feb 2026, 9:19 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

Variación espacio-temporal de las redes de interacción planta-visitante floral del Bosque Tropical....pdf

Tamaño del archivo

1.2 MB

57 páginas

13.522 palabras

78.008 caracteres

22% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 22%  Fuentes de Internet
- 17%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Caracteres reemplazados

25 caracteres sospechosos en N.º de páginas

Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas	
Título del trabajo	Variación espacio-temporal de las redes de interacción planta-visitante floral del Bosque Tropical Seco	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Diana Abarca Solorio	1719923g@umich.mx
Director	Dra. Yvonne Herrerías Diego	yvonne.herrerias@umich.mx
Codirector	Dr. Mauricio Quesada Avendaño	mquesada@cleco.unam.mx
Coordinador del programa	Dra. Rosa Elvira Núñez Anlita	mae.ciencias.biologicas@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	NO	
Traducción a otra lengua	NO	
Revisión y corrección de estilo	NO	
Análisis de datos	NO	
Búsqueda y organización de información	NO	
Formateo de las referencias bibliográficas	NO	
Generación de contenido multimedia	SI	Pedí imagenes para agregarlas a una presentación
Otro		

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Diana Abarca Solorio
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 19 de febrero el 2026