

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MORELOS**

---

---

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

**“Influencia de la fenología floral sobre las interacciones de los  
visitantes florales en  
una selva estacionalmente seca en Morelos”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN BIOLOGÍA INTEGRATIVA DE LA  
BIODIVERSIDAD Y LA CONSERVACIÓN**

**PRESENTA:**

**BIÓL. LARITZA GONZÁLEZ LEIVA**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA**

**COMISIÓN REVISORA:**

**DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA**

**DRA. MARÍA MARCELA OSORIO BERISTAIN**

**DRA. CECILIA DÍAZ CASTELAZO**

**DRA. CONCEPCIÓN MARTÍNEZ PERALTA**

**DRA. PAULA VARGAS PELLICER**



**CUERNAVACA, MORELOS**

**MAYO, 2024**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada con # de CVU: 1176668.

Al Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación por permitirme cursar esta maestría y por su apoyo en la realización de la investigación.

A The Rufford Foundation por el proyecto: “Assessing the effects of ecological restoration on plant-pollinator interactions” otorgado a la Dra. Paula Vargas Pellicer.

A la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por el proyecto # QQ003/19 “Reforzamiento de la cerca de un terreno en donde se han llevado a cabo acciones de restauración ecológica en la Sierra de Huautla, Morelos” otorgado a la Dra. Cristina Martínez Garza.

A la Secretaría de Desarrollo Sustentable y la Secretaría de Educación Pública (SEP) por el financiamiento otorgado.

Al personal de la Estación Biológica “El Limón” y a Gerardo Pacheco Arias por su apoyo durante la toma de datos.

A las personas de mi Comisión Revisora:

Dra. Cristina Martínez Garza

Dra. María Marcela Osorio Beristain

Dra. Cecilia Díaz Castelazo

Dra. Concepción Martínez Peralta

Dra. Paula Vargas Pellicer

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

A mis padres por ser incondicionales y confiar en mí.

A Javier por aparecer en mi vida y apoyarme siempre.

A mi tutora por darme la oportunidad de iniciar y terminar esta etapa de mi vida bajo su dirección, enseñarme, dedicarme su tiempo y hacerme saber que puedo contar con ella.

A Paula por estar siempre cuando la necesité, por su gran apoyo en la toma de datos y en los análisis de esta tesis.

A Gabriel por su ayuda en la identificación de las especies de plantas.

A Javier Valverde por su colaboración en la construcción de los diagramas.

A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a que este día llegara,

Gracias.

**Citar como:**

González-Leiva, L. 2024. Influencia de la fenología floral sobre las interacciones de los visitantes florales en una selva estacionalmente seca en Morelos. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 154pp.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>MÉTODOS GENERALES</b> .....	6
Sitio de estudio .....	6
Diseño experimental.....	7
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	10
<b>APÉNDICES</b> .....	15
<b>CAPÍTULO II</b> .....	18
<b>PLANTAS CON FLORES Y GRUPOS FUNCIONALES DE VISITANTES FLORALES</b> .....	18
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	18
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos.....	19
Hipótesis específicas .....	20
<b>MÉTODOS</b> .....	20
Fenología floral.....	20
Plantas con flores y visitantes florales .....	21
Análisis de datos .....	22
<b>RESULTADOS</b> .....	25
Generales .....	25
Fenología floral.....	28
Grupos funcionales de visitantes florales .....	38
Riqueza de plantas con flores y densidad floral .....	48
Hábitat y forma de vida .....	48
Hábitat y tiempo. ....	49
Composición de plantas con flores .....	52
Riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales.....	52
Composición de grupos funcionales de visitantes florales .....	56
<b>DISCUSIÓN</b> .....	56
Plantas con flores .....	56
Grupos funcionales de visitantes florales.....	60
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	63
<b>APÉNDICES</b> .....	68

<b>CAPÍTULO III</b> .....	94
REDES DE INTERACCIÓN ENTRE LAS PLANTAS CON FLORES Y LOS GRUPOS FUNCIONALES DE VISITANTES FLORALES .....	94
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	94
Objetivo general.....	95
Objetivo específico.....	95
Hipótesis específica.....	96
<b>MÉTODOS</b> .....	96
Análisis de datos .....	96
<b>RESULTADOS</b> .....	98
Redes de interacción.....	98
Parámetros de las redes de interacción.....	99
<b>DISCUSIÓN</b> .....	114
Redes de interacción.....	114
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	123
<b>APÉNDICES</b> .....	129
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	131
<b>IMPLICACIONES PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA</b> .....	131
<b>CONCLUSIONES</b> .....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Ubicación geográfica de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. .... 9

### CAPÍTULO II

- Figura 1.** Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en un hábitat perturbado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat. .... 31
- Figura 2.** Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en el hábitat de sucesión natural de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat. .... 33
- Figura 3.** Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en plantaciones de restauración de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat. .... 35
- Figura 4.** Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en un hábitat conservado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat. .... 37
- Figura 5.** Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat perturbado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional. .... 41

<b>Figura 6.</b> Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat de sucesión natural de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional. ....	43
<b>Figura 7.</b> Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en plantaciones de restauración de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional. ....	45
<b>Figura 8.</b> Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat conservado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional. ....	47
<b>Figura 9.</b> Riqueza de plantas con flores durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son <i>outlier</i> u observaciones extremas en los datos. ....	50
<b>Figura 10.</b> Densidad floral (flores abiertas/m <sup>3</sup> ) durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son <i>outlier</i> u observaciones extremas en los datos. ....	51
<b>Figura 11.</b> Riqueza de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son <i>outlier</i> u observaciones extremas en los datos. ....	54
<b>Figura 12.</b> Abundancia de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas	

representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son *outlier* u observaciones extremas en los datos. .... 55

### CAPÍTULO III

- Figura 1.** Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales de visitantes florales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción. .... 103
- Figura 2.** Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat perturbado en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción. .... 105
- Figura 3.** Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat de sucesión natural en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción. .... 107
- Figura 4.** Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat de plantaciones de restauración en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción. .... 109
- Figura 5.** Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat conservado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color

verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción. .... 111

**Figura 6.** Relación entre los parámetros de las redes de interacción y los cuatro tipos de hábitats durante nueve meses en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son outlier u observaciones extremas en los datos. .... 112

**Figura 7.** Relación entre los parámetros de las redes de interacción y los nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) de estudio durante dos temporadas (secas y lluvias, separadas con líneas negras) en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México..... 113

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

Tabla 1. Total de familias y especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales registrados en cuatro hábitats de la selva estacionalmente seca en El Limón de Cuachichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.....	27
---	----

# ÍNDICE DE APÉNDICES

## CAPÍTULO I

- Apéndice 1.** Climograma de la estación El Limón (1981-2010) (coordenadas: 18.5311,-98.9375) y de la estación Tepalcingo (febrero de 2022 a enero de 2023) (coordenadas: 18.5964, -98.8436) Morelos, México. .... 15
- Apéndice 2.** Veinte especies de árboles de 10 familias plantados en el 2006 en cuatro parcelas de 50 × 50 m en El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. \*La nomenclatura taxonómica actual fue confirmada en TROPICOS, 2024. (Tomado de Martínez-Garza et al., 2022). .... 16

## CAPÍTULO II

- Apéndice 1.** Valores de tamaño de la muestra (n), riqueza observada (R.obs) y cobertura de la muestra (CM) de las especies de plantas con flores registradas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México..... 68
- Apéndice 2.** Valores de tamaño de la muestra (n), riqueza observada (R.obs) y cobertura de la muestra (CM) de los grupos funcionales de visitantes florales registrados en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México..... 69
- Apéndice 3.** Completitud de muestreo teniendo en cuenta el número de individuos registrados de las especies de plantas con flores en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. ....70
- Apéndice 4.** Completitud de muestreo teniendo en cuenta el número de individuos registrados de los visitantes florales en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. ....71
- Apéndice 5.** Análisis asintótico de la diversidad verdadera de las especies de plantas con flores registradas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de diversidad observada (Div. obs), diversidad estimada (Div. est), error estándar (Error est.) e intervalos de confianza

mínimo (ICMín) y máximo (ICMáx) para los órdenes de diversidad ( ${}^0D$ = Riqueza de especies, ${}^1D$ = Exponencial de Shannon, ${}^2D$ = Inverso de Simpson).....	72
<b>Apéndice 6.</b> Análisis asintótico de la diversidad verdadera de los visitantes florales registrados en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de diversidad observada (Div. obs), diversidad estimada (Div. est), error estándar (Error est) e intervalos de confianza mínimo (ICMín) y máximo (ICMáx) para los órdenes de diversidad ( ${}^0D$ = Riqueza de especies, ${}^1D$ = Exponencial de Shannon, ${}^2D$ = Inverso de Simpson).....	73
<b>Apéndice 7.</b> Curvas de comparación de los órdenes de diversidad ( ${}^0D$ = Riqueza de especies, ${}^1D$ = Exponencial de Shannon, ${}^2D$ = Inverso de Simpson) por tamaño de muestra de las especies de plantas con flores para cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.....	74
<b>Apéndice 8.</b> Curvas de comparación de los órdenes de diversidad ( ${}^0D$ = Riqueza de especies, ${}^1D$ = Exponencial de Shannon, ${}^2D$ = Inverso de Simpson) por tamaño de muestra de los grupos funcionales de visitantes florales para cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.....	75
<b>Apéndice 9.</b> Cuarenta y ocho especies de plantas con flores de 19 familias presentes durante nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) en catorce parcelas de 50 × 50 m en El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. *La nomenclatura taxonómica actual fue confirmada en TROPICOS, 2024.....	76
<b>Apéndice 10.</b> Fenología floral de 48 especies durante nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Dentro de las celdas se encuentra la densidad floral por especie para cada mes. Los nombres científicos se ordenaron alfabéticamente, por familias.....	78
<b>Apéndice 11.</b> Abundancia de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.....	80
<b>Apéndice 12.</b> Estadísticos complementarios del análisis de varianza de dos vías del efecto de la forma de vida y el hábitat sobre la riqueza de especies de plantas con flores y la densidad floral (flores abiertas/m <sup>3</sup> ) en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.....	81

<b>Apéndice 13.</b> Efecto de la forma de vida y el hábitat sobre la riqueza de especies de plantas con flores en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Pert: Perturbado; Suc. nat: Sucesión natural; Plan: Plantaciones; Con: Conservado. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos, los puntos negros dentro de las cajas son las medias y los puntos negros fuera de las cajas son <i>outlier</i> u observaciones extremas en los datos. ....	82
<b>Apéndice 14.</b> Efecto de la forma de vida y el hábitat sobre la densidad floral (flores abiertas/m <sup>3</sup> ) en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos, los puntos negros dentro de las cajas son las medias y los puntos negros fuera de las cajas son <i>outlier</i> u observaciones extremas en los datos. Pert: Perturbado; Suc. nat: Sucesión natural; Plan: Plantaciones; Con: Conservado. ....	83
<b>Apéndice 15.</b> Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la riqueza de especies de plantas con flores en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas ( <i>smooth</i> en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas. ....	84
<b>Apéndice 16.</b> Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la densidad floral en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas ( <i>smooth</i> en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas. ....	85
<b>Apéndice 17.</b> Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de plantas con flores de todas las formas de vida, hierbas y leñosas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Total-0.14; Hierbas-0.11; Leñosas-0.13. ....	86
<b>Apéndice 18.</b> Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de plantas con flores de todas las formas de vida en época de lluvias y de secas en	

cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Lluvias-0.08; Secas-0.12.....	87
<b>Apéndice 19.</b> Riqueza de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas y las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos. ....	88
<b>Apéndice 20.</b> Abundancia de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son outlier u observaciones extremas en los datos. ....	89
<b>Apéndice 21.</b> Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la riqueza de grupos funcionales de visitantes florales en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas ( <i>smooth</i> en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas. ....	90
<b>Apéndice 22.</b> Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la abundancia de grupos funcionales de visitantes florales en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas ( <i>smooth</i> en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas. ....	91
<b>Apéndice 23.</b> Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de grupos funcionales de visitantes florales en todas las formas de vida, en hierbas y en leñosas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Total-0.11; Hierbas-0.12; Leñosas-0.09.	92

<b>Apéndice 24.</b> Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de grupos funcionales de visitantes florales en época de lluvias y de secas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Luvias-0.11; Secas-0.14.....	93
---	----

### CAPÍTULO III

<b>Apéndice 1.</b> Análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) y comparaciones post-hoc utilizando la prueba Mann Whitney-Wilcoxon para probar las diferencias en los parámetros de las redes entre cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. P: Perturbado, SN: Sucesión natural, PL: Plantaciones, C: Conservado.....	129
<b>Apéndice 2.</b> Valores obtenidos (mediana/valor más alto) para los parámetros de las redes de interacción en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.....	130

## RESUMEN

En México, la selva estacionalmente seca ha sido fuertemente perturbada. Esta perturbación afecta la biodiversidad y la funcionalidad del ecosistema. Cuando un ecosistema ha sido severamente perturbado, puede perder su capacidad de recuperarse de forma natural. La práctica de la restauración ecológica consiste en asistir el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado o dañado. Por otra parte, la ecología de la restauración es la ciencia que propone tratamientos de restauración basados en la teoría ecológica, donde las interacciones bióticas son relevantes pues son parte de los servicios ecosistémicos. Por lo tanto, las acciones de restauración deben considerar las interacciones mutualistas y la fenología floral para favorecer la recuperación de la función del ecosistema. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la fenología floral en la dinámica espacio-temporal de las redes plantas-visitantes florales en cuatro hábitats de la selva estacionalmente seca: (i) perturbados, (ii) sucesión natural, (iii) plantaciones de restauración de 17 años y (iv) conservados. De febrero de 2022 a enero de 2023 se realizaron observaciones en 14 parcelas de 50 x 50 m, en los cuatro hábitats. En cada parcela, por mes se evaluó la riqueza, la densidad floral y la composición de árboles, arbustos y hierbas. También se evaluó la riqueza, abundancia y composición de 15 grupos funcionales de visitantes florales. Además, se construyeron redes de interacciones cuantitativas planta-visitante floral para analizar los cambios en las interacciones de las especies entre hábitats y en el tiempo. En los cuatro hábitats se registraron 48 especies con flores (17 árboles, 5 arbustos y 26 herbáceas). El mayor número de especies de plantas con flores se registró en noviembre (16 especies) y junio (12 especies). El mes con mayor densidad floral fue marzo (4539 flores/m<sup>3</sup>). La riqueza y

la densidad floral fueron similares entre hábitats pero diferentes a lo largo del año. La composición de plantas con flores fue similar entre hábitats. En los cuatro hábitats se registraron 1,245 visitantes florales de los 15 grupos funcionales. El mes con mayor abundancia de visitantes florales fue marzo con 359 visitantes. Las abejas y las avispa chicas fueron los grupos más frecuentes en los meses evaluados. La riqueza y abundancia de grupos funcionales fue similar entre hábitats y diferente entre meses. La composición de grupos funcionales de visitantes florales fue similar entre hábitats. El hábitat sucesión natural presentó el mayor número de interacciones. Todos los parámetros de las redes difirieron entre hábitats. Nuestros resultados mostraron que a 17 años de la intervención de restauración, la riqueza de plantas con flores, la densidad floral y la riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales fueron similares entre hábitats pero las interacciones planta-visitante floral difirieron.

## ABSTRACT

In Mexico, the seasonally dry rainforest has been heavily disturbed. This disturbance affects the biodiversity and functionality of the ecosystem. When an ecosystem has been severely disturbed, it may lose its ability to recover naturally. The practice of ecological restoration consists of assisting in the reestablishment of an ecosystem that has been degraded or damaged. On the other hand, restoration ecology is the science that proposes restoration treatments based on ecological theory, where biotic interactions are relevant as they are part of ecosystem services. Therefore, restoration actions must consider mutualistic interactions and floral phenology to favor the recovery of ecosystem function. This work aims to evaluate the effect of floral phenology on the spatio-temporal dynamics of plant-floral visitor networks in four seasonally dry forest habitats: (i) disturbed, (ii) natural succession, (iii) plantations of restoration of 17 years and (iv) conserved. From February 2022 to January 2023, observations were made in 14 plots of 50 x 50 m, in the four habitats. In each plot, the richness, floral density and composition of trees, shrubs and herbs were evaluated per month. The richness, abundance and composition of 15 functional groups of floral visitors were also evaluated. In addition, networks of quantitative plant-floral visitor interactions were constructed to analyze changes in species interactions between habitats and over time. In the four habitats, 48 flowering species were recorded (17 trees, 5 shrubs and 26 herbaceous). The largest number of flowering plant species was recorded in November (16 species) and June (12 species). The month with the highest floral density was March (4539 flowers/m<sup>3</sup>). Floral richness and density were similar between habitats but different throughout the year. The composition of flowering plants was similar between habitats. In the four habitats, 1,245

floral visitors from the 15 functional groups were recorded. The month with the greatest abundance of floral visitors was March with 359 visitors. Bees and small wasps were the most frequent groups in the months evaluated. The richness and abundance of functional groups was similar between habitats and different between months. The composition of functional groups of floral visitors was similar between habitats. The natural succession habitat presented the highest number of interactions. All network parameters differed between habitats. Our results showed that 17 years after the restoration intervention, the richness of flowering plants, floral density and the richness and abundance of functional groups of floral visitors were similar between habitats but plant-floral visitor interactions differed.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, la selva estacionalmente seca (*sensu* Dirzo et al., 2011), también llamada selva baja caducifolia (*sensu* Rzedowski, 2006) se encuentra perturbada por lo que se afecta la dinámica del ecosistema. Este ecosistema se caracteriza por una marcada estacionalidad: una corta temporada de lluvias y una prolongada sequía en la cual los árboles pierden su follaje (Rzedowski, 2006). Además, en estas selvas habitan una gran variedad de especies de plantas y animales (Rzedowski, 2006). Este ecosistema presenta altas tasas de deforestación debido a la ganadería extensiva y la extracción selectiva de productos naturales (Maass et al., 2010; Trejo & Dirzo, 2000). Así, plantas y animales se encuentran en peligro de desaparecer, debido a la pérdida de hábitat y a la cacería furtiva y/o de subsistencia (Pérez-García et al., 2010). Los cambios de la selva estacionalmente seca por perturbaciones afectan la diversidad del ecosistema.

La selva estacionalmente seca puede recuperar su estructura y función original después de una perturbación. Este proceso de recuperación se llama sucesión natural (Begon et al., 1995). Las teorías sucesionales buscan predecir cómo las especies y las poblaciones cambian con el tiempo después de que ocurre una perturbación (Revisado en Poorter et al., 2023). Cuando la perturbación elimina la vegetación y también la capa de suelo, comienza la sucesión primaria; mientras que cuando la perturbación solo elimina la vegetación, comienza la llamada sucesión secundaria (Begon et al., 1995). El proceso de

sucesión secundaria se puede ver favorecido por las interacciones entre plantas y animales; estas interacciones pueden acelerar la velocidad del proceso sucesional (Guariguata & Ostertag, 2002). Las teorías sucesionales rara vez incluyen las interacciones planta-animal; lo disponible en la literatura muestra que las teorías sucesionales evalúan frecuentemente la riqueza y abundancia de plantas y en menor grado de animales (Cortés-Flores et al., 2023; Revisado en Poorter et al., 2023). Por otra parte, el proceso de sucesión natural permite el mantenimiento de la biodiversidad (Connell & Slatyer, 1977). Esto se puede explicar con ayuda de la hipótesis de la perturbación intermedia: esta hipótesis enuncia que la diversidad es baja en condiciones de perturbación baja porque las especies dominantes excluyen a otras. Por otro lado, en condiciones de alta perturbación, también hay baja diversidad porque las condiciones son inhóspitas y pocas especies sobreviven (Connell, 1978; Ward & Stanford, 1983). En condiciones de perturbación intermedia, muchas especies colonizan y coexisten en el ecosistema, maximizando así la diversidad (Connell, 1978; Ward & Stanford, 1983). De acuerdo con el estudio de los procesos sucesionales, luego de que ocurren perturbaciones moderadas el ecosistema puede recuperar su diversidad.

Cuando un ecosistema ha sido severamente perturbado, puede perder su capacidad de recuperarse de forma natural. La restauración ecológica consiste en asistir el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado o dañado (Gann et al., 2019). Por otra parte, la ecología de la restauración es la ciencia que, a partir de la teoría ecológica, desarrolla principios para guiar la práctica de la restauración (López-Barrera et al., 2017). Las acciones de restauración involucran diferentes niveles de intervención: el nivel de intervención mínimo se refiere a detener o minimizar la perturbación para

favorecer que los procesos naturales de recuperación se lleven a cabo por sí solos (Hobbs & Norton, 1996). Este nivel de intervención se utiliza cuando hay un alto potencial de regeneración natural (Márquez-Torres & Martínez-Garza, 2022). Por otro lado, el nivel máximo involucra acciones encaminadas a acelerar el proceso de sucesión natural, por ejemplo, con el establecimiento de plantaciones (Engel & Parrotta, 2001). Además, para la restauración se busca designar un ecosistema de referencia que sea una versión no degradada de elementos del ecosistema que se busca restaurar (Gann et al., 2019). La ecología de la restauración y su práctica con la existencia de tratamientos experimentales son herramientas empleadas para la recuperación de los ecosistemas.

Las interacciones entre plantas y animales son parte del funcionamiento del ecosistema. La ruptura de las interacciones bióticas como consecuencia de perturbaciones es uno de los factores que pueden afectar la biodiversidad (Meffe & Carroll, 1997). Entre estas interacciones se encuentran los mutualismos que ocurren cuando ambas especies se benefician de la interacción (Begon et al., 1995). La polinización es un tipo de mutualismo entre plantas y animales que permite la llegada del polen desde la antera hasta el estigma (Font-Quer, 1968). Por una parte, un gran número de animales polinizadores dependen estrechamente de los recursos que las plantas proveen (Waser & Ollerton, 2006). Por otra parte, alrededor del 87.5 % de las angiospermas del mundo requieren de la intervención de animales para su reproducción; en los bosques tropicales esta intervención de los animales para la reproducción de las plantas sobrepasa el 90 % (Ollerton et al., 2011). Las relaciones mutualistas se pueden ver afectadas por la fragmentación y la deforestación del hábitat (Aizen & Feinsinger, 2003; Willson et al., 2001). Algunos mutualismos como la polinización aparentan tener un alto grado de

sensibilidad a distintas formas de perturbación (Aizen et al., 2002). En los estudios sobre polinizadores hay que tener presente el posible efecto de la presión antrópica.

Para recuperar la función del ecosistema hay que conocer la disponibilidad de flores para los animales que se benefician de estas. Esta disponibilidad, se puede medir mediante la fenología; la fenología describe los periodos de aparición y duración de hojas, flores y frutos durante el año, ya sea de una especie, una población, o una comunidad (Solórzano et al., 2010). Los estados fenológicos de las plantas y el momento de su floración a nivel poblacional pueden influir en la variación temporal de flores y la atracción de polinizadores (Elzinga et al., 2007; Morellato et al., 2016; Quesada et al., 2012). La riqueza y abundancia de polinizadores puede estar asociada a la abundancia de flores abiertas (p.ej., Martínez-Peralta & Mandujano, 2012). Uno de los principales factores determinantes de la estructura de las redes planta-visitante floral es la fenología de las plantas (Olesen et al., 2011; Encinas-Viso et al., 2012). Por ejemplo, en una selva húmeda en Brasil se encontró que la fenología de las plantas, la producción de flores y su abundancia relativa fueron los mejores predictores de los patrones de interacción con visitantes florales (De Souza et al., 2022). La fenología de las plantas contribuye al entendimiento de las interacciones entre las plantas y sus polinizadores.

Las interacciones entre plantas y animales forman parte de la funcionalidad ecosistémica. El análisis de las interacciones entre especies en una comunidad se puede realizar mediante las redes ecológicas (Pascual & Dunne, 2006). En las redes ecológicas hay especies de plantas y animales generalistas y especialistas: las generalistas son las que tienen muchas interacciones, mientras que las especialistas tienen pocas interacciones (Martínez-Falcón et al., 2019). En las interacciones entre plantas y polinizadores, la

mayoría de las especies de plantas y animales interactúan con múltiples parejas (Waser et al., 1996). Estas interacciones pueden formar subconjuntos o grupos cohesivos (módulos o compartimentos (Dormann & Strauss, 2014)). La existencia de estos subconjuntos de interacciones puede reflejar la heterogeneidad del hábitat; por ejemplo, en aquellos hábitats menos heterogéneos se debe observar una menor cantidad de módulos y una disminución en el número de las interacciones (Lewinsohn et al., 2006). El estudio de las interacciones mutualistas mediante redes ecológicas permite comparar la estructura de las interacciones entre hábitats.

La estructura del hábitat puede influir en la fauna que se encuentra asociada y en su comportamiento. La hipótesis de la heterogeneidad del hábitat asume que los hábitats estructuralmente complejos pueden proporcionar más nichos, lo que beneficiaría a los animales con la variedad de recursos y, por lo tanto, aumentaría la diversidad de especies de animales (Bazzaz, 1975). Las plantas determinan la estructura física del ambiente (McCoy & Bell, 1991). Por otra parte, la diversidad de animales puede depender de cómo ellos perciben la estructura del hábitat (Tews et al., 2004). La diversidad de plantas y por ende, la heterogeneidad del hábitat puede ocurrir en áreas pequeñas, y podría favorecer diferentes niveles de diversidad de animales entre sitios dentro de los paisajes y entre paisajes (Veech & Crist, 2007). La heterogeneidad puede provocar cambios en la diversidad de plantas y animales presentes en un área.

En 2006 se estableció un experimento de restauración en la selva estacionalmente seca aledaña a la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos (Martínez-Garza et al., 2011). El experimento consiste en excluir de la perturbación ocho parcelas; en cuatro de ellas se evaluó la sucesión natural y en otras cuatro se establecieron

plantaciones de restauración (Martínez-Garza et al., 2011). Dos hábitats adicionales fueron incluidos: la selva estacional más conservada y la selva secundaria perturbada (Martínez-Garza et al., 2011). El objetivo general de este trabajo es evaluar el efecto de la fenología floral en la dinámica temporal de las redes de visitantes florales en hábitats perturbados, plantaciones, sucesión natural y conservados. La hipótesis general es que la riqueza de plantas con flores y la densidad floral difieren entre los hábitats y a través del tiempo. Las redes de interacción entre plantas y visitantes también difieren entre hábitats y a través del tiempo. Los siguientes capítulos exploran la presencia de plantas con flores y sus visitantes (Capítulo II), las redes de interacción entre plantas con flores y visitantes florales (Capítulo III) y las conclusiones de este trabajo y sus implicaciones para la restauración ecológica (Capítulo IV).

## **MÉTODOS GENERALES**

### **Sitio de estudio**

El estudio se realizó en la selva estacionalmente seca de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, perteneciente a la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH), al sur del estado de Morelos, México (Fig. 1). La reserva cubre una superficie de 59,030 ha, en un rango altitudinal de 700-2,200 msnm y el paisaje está dominado por selva estacional conservada, selva secundaria y bosque con diferente grado de degradación, además de zonas de agricultura y urbanas (Trejo & Dirzo, 2000). En esta región se presenta un clima cálido-subhúmedo y la precipitación presenta picos máximos entre julio y septiembre (CONANP, 2005). La precipitación total anual es de 877,3 mm

(promedio histórico del 1981 al 2010) y la temperatura promedio anual es de 23,3 °C (promedio histórico del 2010 al 2016; CONAGUA, 2016).

En la selva estacionalmente seca aledaña a la localidad de El Limón de Cuauchichinola, la mayor precipitación se registra de junio a octubre (Rivas-Alonso, 2015; Apéndice 1). Con datos de la CONAGUA se construyó un climograma correspondiente al período de estudio para contrastarlo con el histórico. Este climograma es de la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio que contaba con los datos completos (Tepalcingo, Morelos, coordenadas: 18.5964, -98.8436; Apéndice 1). Los meses de mayor lluvia en el año de estudio fueron los mismos registrados en el climograma histórico (Apéndice 1).

### **Diseño experimental**

Este estudio se realizó dentro de un proyecto de restauración experimental iniciado en 2006 (Carrasco-Carballido & Martínez-Garza, 2011). En ese proyecto se establecieron 14 parcelas permanentes de 50 x 50 m. En ocho parcelas de esas parcelas se excluyó la perturbación debido a la ganadería y a la extracción de recursos (Martínez-Garza et al., 2016). En las ocho parcelas excluidas se establecieron dos niveles de intervención: intervención mínima, que se refiere a la exclusión de la perturbación para favorecer la sucesión natural e intervención máxima que incluye además de la exclusión de la perturbación, el establecimiento de plantaciones de 20 especies de árboles nativos (Apéndice 2; Martínez-Garza et al., 2022). Adicionalmente se monitorearon dos hábitats: tres parcelas en la selva más conservada que corresponde al ecosistema de referencia y que no fue cercada y tres parcelas donde aún hay entrada de ganado por lo que están bajo

perturbación crónica (Carrasco-Carballido & Martínez-Garza, 2011). En cada parcela se realizaron cinco transectos de 5 x 50 m cada uno separados a una distancia de 5 m entre ellos; en estos transectos se evaluaron los visitantes florales y la fenología de la floración de las plantas de todas las formas de vida (i.e., árboles, arbustos y hierbas). El estudio se realizó durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, agosto, noviembre y diciembre de 2022 y enero de 2023.

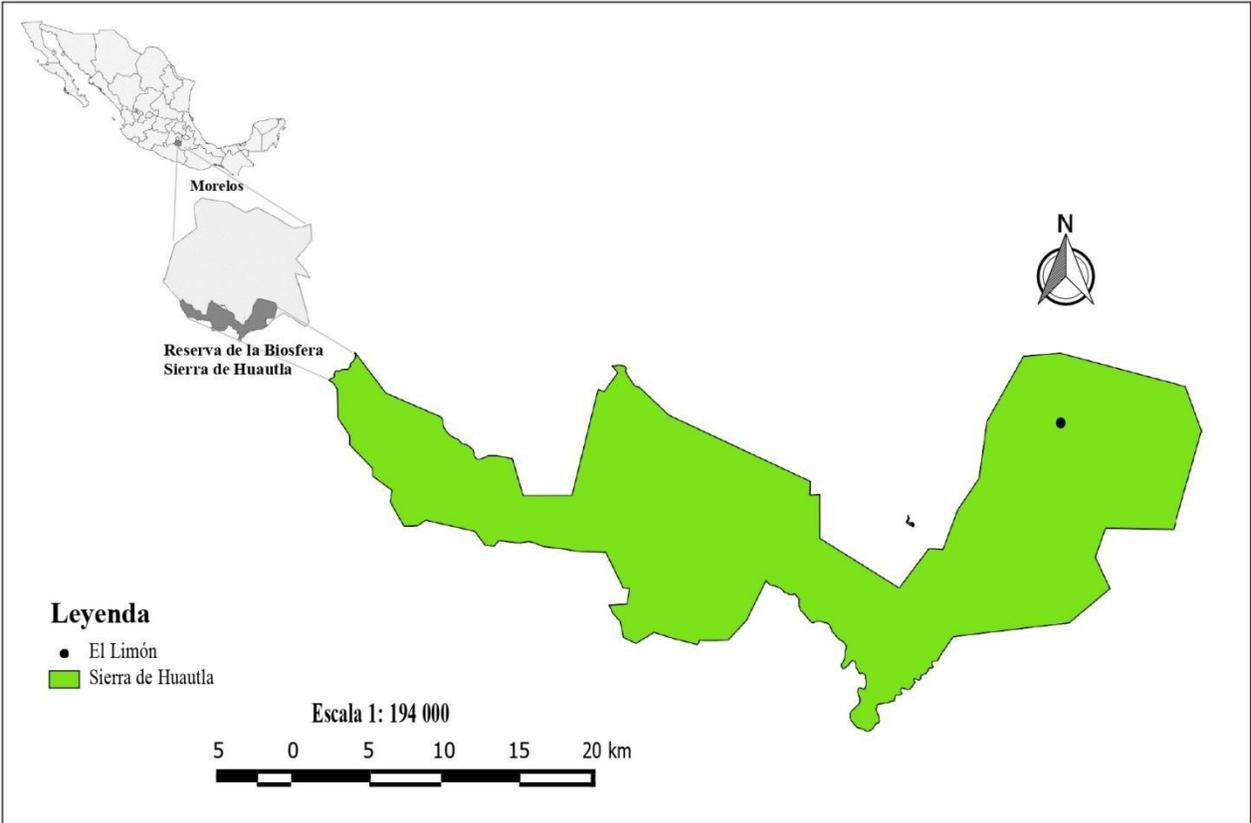


Figura 1. Ubicación geográfica de la localidad de El Limón de Cuachichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

## LITERATURA CITADA

- Aizen, M.A., Vázquez, D.P. & Smith-Ramírez, C. (2002) Historia natural y conservación de los mutualismos planta-animal del bosque templado de Sudamérica austral. *Revista chilena de historia natural*, 75(1), 79-97.
- Aizen, M.A. & Feinsinger, P. (2003) Bees not to be? Responses of insect pollinator faunas and flower pollination to habitat fragmentation. En: *How landscapes change: human disturbance and ecosystem fragmentation in the Americas*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. pp.111-129.
- Bazzaz, F.A. (1975) Plant species diversity in old-field successional ecosystems in southern Illinois. *Ecology*, 56, 485-488.
- Begon, M., Harper, J.L. & Townsend, C.R. (1995) Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España. pp. 906.
- Carrasco-Carballido, V. & Martínez-Garza, C. (2011) Recuperación de la biodiversidad con plantaciones de especies nativas en selvas húmedas y secas de México. Tres estudios de caso. En: Vargas-Ríos, O. & S.P. Reyes-B. (Eds.), *La restauración ecológica en la práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 297-305.
- CONAGUA, (2016) <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>.
- CONANP, (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2005) Programa de Conservación y Manejo, Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. pp. 207.
- Connell, J.H. (1978) Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310.
- Connell, J.H. & Slatyer, R.O. (1977) Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, 111, 1119-1144.
- Cortés-Flores, J., Lopezaraiza-Mikel, M., de Santiago-Hernández, M.H., Martén-Rodríguez, S., Cristóbal-Pérez, E.J., Aguilar-Aguilar, M.J., Balvino-Olvera, F.J., Delgado-Carrillo, O., Sayago, R., Fuchs, E.J., Sanchez-Montoya, G.

- & Quesada, M. (2023) Successional and phenological effects on plant-floral visitor interaction networks of a tropical dry forest. *Journal of Ecology*, 111(4), 927-942.
- De Souza, J.M., Vazquez, D.P. & Varassin, I.G. (2022) Abundance and phenology drive plant-pollinator network responses to restoration in the Southern Atlantic rainforest in Brazil. *Restoration Ecology*, 30(5), e13588.
- Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A. & Ceballos, G. (2011) Seasonally Dry Tropical Forest. Ecology and Conservation. Island Press, Washington, DC.
- Dormann, C.F. & Strauss, R.A. (2014) Method for detecting modules in quantitative bipartite networks. *Methods Ecol Evol*, 5, 90-98.
- Elzinga, J.A., Atlan, A., Biere, A., Gigord, L., Weis, A.E. & Bernasconi, G. (2007) Time after time: flowering phenology and biotic interactions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(8), 432-439.
- Encinas-Viso, F., Revilla, T.A. & Etienne, R.S. (2012) Phenology drives mutualistic network structure and diversity. *Ecol Lett*, 15, 198-208.
- Engel, V.L. & Parrotta, J.A. (2001) An Evaluation of Direct Seeding for Reforestation of Degraded Lands in Central Sao Paulo State, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 152, 169-181.
- Font-Quer, P. (1968) Diccionario de Botánica. La Habana, Cuba. pp. 1244.
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. & Dixon, K.W. (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(1), 1-46.
- Guariguata, M.R. & Ostertag, R. (2002) Sucesión secundaria. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*, 591-623.
- Hobbs, R.J. & Norton, D.A. (1996) Towards a Conceptual Framework for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 4, 93-110.
- Lewinsohn, T.M., Prado, P.I., Jordano, P., Bascompte, J. & Olesen, J. (2006) Structure in plant-animal interaction assemblages. *Oikos*, 113, 174-184.

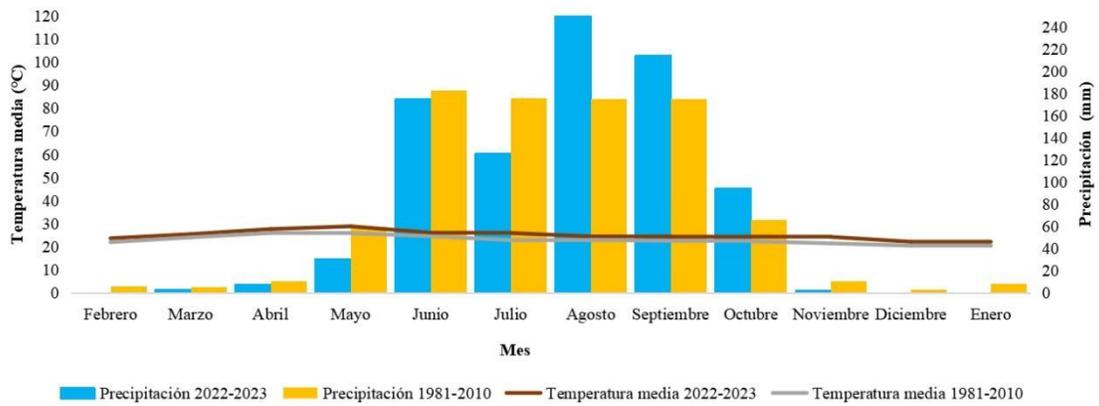
- López-Barrera, F., Martínez-Garza, C., & Ceccon, E. (2017) Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 97-112.
- Maass, M., Búrquez A., Trejo I., Valenzuela D., González M.A., Rodríguez M. & Arias H. (2010) Amenazas. En: G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo. (Eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp. 321-346.
- Martínez-Falcón, A.P., Martínez-Adriano, C.A. & Dáttilo, W. (2019) Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. En: *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*, 265-283.
- Márquez-Torres, F. & Martínez-Garza, C. (2022) Supervivencia de 12 especies de árboles nativos en plantaciones de restauración en la selva estacionalmente seca. *Botanical Sciences*, 100(2), 314-330.
- Martínez-Garza, C., Campo-Alves, J., Valenzuela-Galván, C., Alba-García, L. & Nicolás-Medina, A. (2022) Siembra directa de árboles nativos para la restauración de la selva estacionalmente seca. *Acta Botanica Mexicana*, 129, e1917.
- Martínez-Garza, C., Osorio-Beristain, M., Alcalá-Martínez, R. E., Valenzuela-Galván, D., & Mariano, N. (2016) Capítulo 17. Ocho años de restauración experimental en las selvas estacionales de México. *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. Cuernavaca, Morelos, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, 385-406.
- Martínez-Garza, C., Osorio-Beristain, M., Valenzuela-Galván, D. & Nicolás-Medina, A. (2011) Intra and Inter-annual Variation in Seed Rain in a Secondary Dry Tropical Forest Excluded from Chronic Disturbance. *Forest Ecology and Management*, 262, 2207-2218.
- Martínez-Peralta, C. & Mandujano, M.C. (2012) Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus Scheidweiler* (Cactaceae). *Cact Suc Mex*, 57(4), 114-127.

- McCoy, E.D. & Bell, S.S. (1991) Habitat structure: the evolution and diversification of a complex topic. En: S.S. Bell, E.D. McCoy y H.R. Mushinsky. (Eds.), *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*. Chapman & Hall, London. pp. 3-27.
- Meffe, G. & Carroll, C. (1997) Principles of conservation biology. Second edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts. pp. 600.
- Morellato, L.P.C., Alberton, B., Alvarado, S.T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M.G.G. & Peres, C.A. (2016) Linking plant phenology to conservation biology. *Biological conservation*, 195, 60-72.
- Olesen, J.M., Bascompte, J., Dupont, Y.L., Elberling, H., Rasmussen, C. & Jordano, P. (2011) Missing and forbidden links in mutualistic networks. *Proc R Soc Lond B S*, 278(1706), 725-732.
- Ollerton, J., Winfree, R. & Tarrant, S. (2011) How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3), 321-326.
- Pascual, M. & Dunne, J.A. (Eds.). (2006) *Ecological networks: linking structure to dynamics in food webs*. Oxford University Press.
- Pérez-García, E., Meave, J. & Salas, S. (2010) Nizanda, Oaxaca. En: G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury, & R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pp. 538-542). México: Fondo de Cultura Económica, CONABIO.
- Poorter, L., Amisshah, L., Bongers, F., Hordijk, I., Kok, J., Laurance, S.G.W., Lohbeck, M., Martínez-Ramos, M., Matsuo, T., Meave, J.A., Muñoz, R., Peña-Claros, M. & van der Sande, M.T. (2023) Successional theories. *Biological Reviews*. doi: 10.1111/brv.12995.
- Quesada, M., Rosas, F., Mikel, M.L., Aguilar, R., Ashworth, L., Rosas-Guerrero, V., Sánchez-Montoya, G. & Martén-Rodríguez, S. (2012) Ecología y conservación biológica de sistemas de polinización de plantas tropicales. En: *Ecología y Evolución de las interacciones bióticas*. Val, E.D & Boege, K. (Coords.), Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México. pp. 275.

- Rivas-Alonso, E. (2015) Lluvia de semillas en un gradiente sucesional con énfasis en dispersión por murciélagos del Bosque Tropical Caducifolio de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla en Morelos, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. pp. 93.
- Rzedowski, J. (2006) *Vegetación de México* (1<sup>ra</sup>. Edición). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://doi.org/10.2307/1219727>
- Solórzano, S., Avila, L., Castillo, S., Meave, J.A. & Ibarra-Manríquez, G. (2010) Fenología de los árboles del bosque mesófilo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. En: *Los bosques mesófilos de montaña en Chiapas: situación actual, diversidad y conservación*. pp. 121-160.
- Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielborger, K., Wichmann, M.C., Schwager, M. & Jeltsch, F. (2004) Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31, 79-92.
- Trejo, I. & Dirzo, R. (2000) Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 94, 133-142.
- TROPICOS, (2024) Tropicos.org, Missouri Botanical Garden, <https://tropicos.org> (consultado mayo de 2024)
- Veech, J.A. & Crist, T.O. (2007) Habitat and climate heterogeneity maintain beta-diversity of birds among landscapes within ecoregions. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 650-656.
- Ward, J.V. & Stanford, J.A. (1983) The intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems. En: T.D. Fontaine & S.M. Bartell (Eds.), *Dynamics of lotic ecosystems*. Ann. Arbor. Science. Ann Arbor. Michigan. pp. 347-356.
- Waser, N.M. & Ollerton, J. (Eds.), (2006) *Plant-Pollinator Interactions: From Specialization to Generalization*. Univ of Chicago Press, Chicago.
- Waser, N.M., Chittka, L., Price, M.V., Williams, N.M. & Ollerton, J. (1996) Generalization in pollination systems and why it matters. *Ecology*, 77, 1043-1060.
- Willson, M.F., Morrison, J.L., Sieving, K.E., de Santo, T., Santisteban, L. & Díaz, I. (2001) Patterns of predation risk and survival of bird nests in a Chilean agricultural landscape. *Conservation Biology*, 15, 447-456.

## APÉNDICES

**Apéndice 1.** Climograma de la estación El Limón (1981-2010) (coordenadas: 18.5311,-98.9375) y de la estación Tepalcingo (febrero de 2022 a enero de 2023) (coordenadas: 18.5964, -98.8436) Morelos, México.



**Apéndice 2.** Veinte especies de árboles de 10 familias plantados en el 2006 en cuatro parcelas de 50 × 50 m en El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. \*La nomenclatura taxonómica actual fue confirmada en TROPICOS, 2024. (Tomado de Martínez-Garza et al., 2022).

**Familia y especies\***

**Bignoniaceae**

*Crescentia alata* Kunth

**Burseraceae**

*Bursera aloexylon* (Schiede) Engl.

*Bursera copallifera* (DC.) Bullock

*Bursera grandifolia* (Schltdl.) Engl.

**Caricaceae**

*Jacaratia mexicana* A. DC.

**Fabaceae**

*Conzattia multiflora* (B.L. Rob.) Standl.

*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.

*Erythrina americana* Mill.

*Haematoxylum brasiletto* H. Karst.

*Leucaena esculenta* (DC.) Benth.

*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit

*Lysiloma divaricatum* (Jacq.) J.F. Macbr.

**Lamiaceae**

*Vitex mollis* Kunth

**Malpighiaceae**

*Malpighia mexicana* A. Juss.

**Malvaceae**

*Ceiba* sp.

*Pseudobombax ellipticum* (Kunth) Dugand

**Meliaceae**

*Swietenia humilis* Zucc.

**Polygonaceae**

*Ruprechtia fusca* Fernald

**Sapotaceae**

*Mastichodendron capiri* (A. DC.) Cronquist

## **CAPÍTULO II**

### **PLANTAS CON FLORES Y GRUPOS FUNCIONALES DE VISITANTES**

#### **FLORALES**

#### **INTRODUCCIÓN**

La relación de las plantas con sus visitantes florales es compleja y cambiante. La mayor parte de las plantas interactúan positivamente con un gran número de especies de animales (Waser et al., 1996). El conocimiento de la variación en la producción de flores permite entender las relaciones entre las plantas y los animales que forrajean en busca de su polen y/o néctar (Leigh & Wright, 1990). Las poblaciones de plantas experimentan variaciones en la composición y abundancia de sus visitantes florales (Valverde et al., 2014). Por otra parte, la estructura de las comunidades de visitantes florales está determinada en gran medida por los recursos florales disponibles en la comunidad de plantas (Armbruster et al., 2000). Así, los cambios en la disponibilidad de recursos ejercen influencia sobre las interacciones entre las plantas y sus visitantes a niveles microespaciales y temporales (Galarda & Sazima, 2012). Si se modifica la distribución espacial y temporal de los recursos para los visitantes florales, se afectará su composición (Kremen et al., 2007). Los cambios temporales y espaciales en los recursos florales pueden afectar la comunidad de visitantes florales y estos cambios afectarán el éxito reproductivo de la comunidad de plantas.

Los eventos fenológicos tienen estrecha relación con los visitantes florales. La fenología floral se define como la producción de flores a lo largo del tiempo (Primack, 1985). La fenología floral es un proceso que permite la disponibilidad de recurso en

beneficio de los visitantes florales (Medel & Nattero, 2009). La fenología puede afectar la cantidad de visitas de los visitantes florales (Williams et al., 2001). La variación de la fenología floral entre especies de plantas minimiza el traslape y maximiza la eficacia de la polinización realizada por los mismos agentes polinizadores (Williams-Linera & Meave, 2002). El ofrecimiento de polen o néctar de la flor a sus visitantes favorece las visitas múltiples (Medel & Nattero, 2009). La fenología floral depende de las condiciones climáticas y de las características generales del ecosistema (Parra-Tabla et al., 2017). Por ejemplo, en zonas tropicales altamente estacionales los cambios bruscos en temperatura y precipitación, provocan la existencia de una clara diferenciación entre lluvias y secas; estos cambios son detonantes de la floración para la mayoría de las especies (Bullock, 1995). En los ecosistemas estacionales como la selva estacionalmente seca la fenología floral puede influir en la identidad y abundancia de los visitantes florales.

### **Objetivo general**

Evaluar la fenología floral de las plantas y la presencia de visitantes florales durante un año en cuatro hábitats.

### **Objetivos específicos**

Describir:

1. La fenología floral para árboles, arbustos y hierbas durante un año en hábitats perturbados, plantaciones, sucesión natural y conservados.
2. La presencia de grupos funcionales de visitantes florales durante un año en cuatro hábitats.

Evaluar para las plantas con flores:

3. La riqueza, densidad floral y composición por forma de vida en cuatro hábitats.
4. La composición entre temporadas.
5. La riqueza y la densidad floral durante un año.

Evaluar para los grupos funcionales de visitantes florales:

6. La riqueza, abundancia y composición en cuatro hábitats.
7. La composición entre temporadas.
8. La riqueza y abundancia durante un año.

### **Hipótesis específicas**

3. La riqueza, la densidad floral y la composición de las plantas con flores de todas las formas de vida difiere entre hábitats.
4. La composición de las plantas con flores de todas las formas de vida difiere entre temporadas.
5. La riqueza de plantas con flores y la densidad floral difiere entre meses.
6. La riqueza, la abundancia y la composición de grupos funcionales de visitantes florales difiere entre hábitats.
7. La composición de grupos funcionales de visitantes florales difiere entre temporadas.
8. La riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales difiere entre meses.

## **MÉTODOS**

### **Fenología floral**

Para la descripción de la fenología floral se identificaron las especies de plantas con flores durante cada mes. Para la identificación de las especies se tomaron muestras que se llevaron al Herbario de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (HUMO) y fueron identificadas con ayuda de los especialistas. Adicionalmente, la densidad floral de árboles, arbustos y hierbas se estimó a partir del conteo de las flores abiertas. La densidad floral permite una mejor estimación de la abundancia de recursos que la densidad de plantas porque se centra en la flor como unidad de recursos para polen y néctar (Vázquez et al., 2009). En el caso de las plantas con flores compuestas se consideraron las inflorescencias como una unidad floral (Castro-Urgal & Traveset, 2016). La densidad de flores se calculó a partir del número de flores abiertas por metro cúbico (Kaiser-Bunbury et al., 2011).

### **Plantas con flores y visitantes florales**

Las plantas y los visitantes florales se registraron durante las observaciones realizadas en cada transecto. Cada planta con flores se observó durante 10 minutos. Las herbáceas se consideraron cuando el parche en flor presentaba 10 flores o más. Estas observaciones se realizaron entre las 10:00 y 17:00 h. (Castro-Urgal & Traveset, 2016), de tal manera que se incluyeran la mayor cantidad de visitantes con actividad diurna. En las observaciones realizadas a los árboles con una altura mayor a 2 m, se emplearon binoculares y una escalera para evitar errores en la observación debido a la distancia del observador. Por otra parte, el horario de toma de datos en cada hábitat se consideró en cada salida a campo; pues se intercambiaron los horarios de observación entre los diferentes hábitats de manera que se tomaron datos en diferentes horarios en todos los hábitats. Esto se realizó con la finalidad de evitar un sesgo en las observaciones debido a la hora del día en

que se tomaron los datos. Cuando un visitante mantuvo contacto con los órganos reproductores de una flor durante más de 1 segundo se consideró una visita (Gibson et al., 2011). En cada observación se registraron los visitantes que interactuaron con las flores. Con el objetivo de conocer la fuerza de la interacción, se registró la cantidad de visitas de cada especie de visitante por especie de planta hasta un máximo de 10 registros. Para facilitar la detección de patrones generales, los visitantes, determinados a la categoría de orden, fueron clasificados en 15 grupos funcionales siguiendo a Valverde et al. (2014), Lara-Romero et al. (2016), y Morente-López et al. (2018). La clasificación se realizó en función del tamaño principalmente; los 15 grupos funcionales considerados se enlistan a continuación: abeja, abejorro, avispa chica, avispa mediana, avispa grande, chinche, hormiga, mariposa chica, mariposa mediana, mariposa grande, mosca chica, mosca mediana, mosca grande, sírfido y la categoría “otros” que incluyó a las catarinas, colibríes, escarabajos, grillos, no identificado, mosquitos y otros visitantes no determinados a nivel de orden. La riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales se estimó usando esta clasificación.

### **Análisis de datos**

Para el análisis de la completitud del muestreo (Sample coverage) cuyo objetivo es validar los datos y las comparaciones entre hábitats se utilizó el paquete Vegan del programa R (R Core Team, 2022; V. 4.3.0); este análisis se realizó para las especies de plantas con flores y los grupos funcionales de visitantes florales. La cobertura de la muestra tuvo valores por encima de 90 % para los cuatro hábitats teniendo en cuenta las especies de plantas con flores (Apéndice 1) y los grupos funcionales de visitantes florales (Apéndice 2). Este valor nos indica que el esfuerzo de muestreo realizado en los hábitats

fue suficiente para poder llevar a cabo comparaciones entre ellos y nos garantiza que las diferencias encontradas no están influenciadas por un tamaño de muestra incorrecto. La superposición o solapamiento de las curvas en la completitud de la muestra indica que contamos con muestreos perfectamente comparables (Apéndices 3 y 4).

La diversidad se determinó para las especies de plantas con flores, con el número de especies de plantas y para los grupos funcionales con el número de grupos funcionales de visitantes florales. La diversidad verdadera o números de Hill se calculó para cada hábitat utilizando el paquete iNEXT (Hsieh et al., 2016) en el programa R (V. 4.3.0) y la interfaz RStudio. Los números se definen a continuación:  $q = 0$  corresponde a la riqueza de especies;  $q = 1$  se refiere al exponencial de Shannon y toma en cuenta las especies efectivas;  $q = 2$  corresponde al Inverso de Simpson y toma en cuenta las especies dominantes (Chao et al., 2014). Los valores de diversidad verdadera encontrados demuestran que no existen diferencias notables entre estos hábitats en cuanto a la riqueza de especies ( ${}^0D$ ), las especies que son efectivas o comunes ( ${}^1D$ ) y las dominantes ( ${}^2D$ ), tanto para las especies de plantas con flores (Apéndices 5) como para los grupos funcionales de visitantes florales (Apéndices 6). Las curvas de comparación de diversidad por tamaño de muestra se realizaron utilizando la función `ggiNEXT` del paquete “iNEXT” (V. 3.0.0). Las curvas de comparación de los órdenes de diversidad demostraron que las diferencias encontradas entre los hábitats no son estadísticamente significativas, pues al extrapolar los valores ocurre la superposición de los intervalos de confianza (Apéndices 7 y 8).

Para visualizar las variaciones entre hábitats e intranual en la densidad floral y el número de visitas de cada grupo funcional se realizaron diagramas de husos (en inglés

*spindle diagrams*) (Valverde et al., 2016) en el programa R (V. 4.3.0). La prueba Kolmogorov-Smirnov ( $n > 50$ ) se realizó en el programa R (V. 4.3.0) para probar la normalidad de los datos de la riqueza y densidad floral de las especies de plantas con flores y la normalidad de los datos de la riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales. Las variables de las plantas con flores y de los visitantes florales no presentaron una distribución normal (*plantas*: riqueza:  $D = 0.217$ ,  $P < 0.0001$ , densidad:  $D = 0.261$ ,  $p < 0.0001$ ; *visitantes*: riqueza:  $D = 0.271$ ,  $P < 0.0001$ , abundancia:  $D = 0.260$ ,  $P < 0.0001$ ).

Para la comparación entre los hábitats y entre los meses ( $P \leq 0.05$ ) de la riqueza y densidad floral de las especies de plantas con flores y la riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales se realizaron análisis de varianza no paramétricos (Kruskal-Wallis) porque los datos no presentaron normalidad. Después de análisis significativos, para comparar entre grupos se realizaron comparaciones post-hoc utilizando la prueba Mann Whitney-Wilcoxon. Ambos análisis se llevaron a cabo en el programa R (V. 4.3.0). Para la comparación de la riqueza y densidad floral entre las formas de vida (leñosa y herbácea) por hábitat se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de dos vías luego de una transformación logarítmica de los datos que normalizó los datos. Este análisis se realizó en el programa R (V. 4.3.0) utilizando la función `anova_test` del paquete “`rstatix`” (V.0.7.2).

Para estimar cómo la riqueza de plantas con flores, la densidad floral y la riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales están relacionados con el tipo de hábitat (perturbado, sucesión natural, plantaciones, conservado) y en el tiempo se realizaron modelos aditivos generalizados (en inglés GAM). Para los GAM las variables

de respuestas fueron: riqueza de plantas con flores ( $k = 3$ ), densidad floral ( $k = 5$ ), riqueza de grupos funcionales de visitantes florales ( $k = 3$ ) y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales ( $k = 3$ ) y las explicativas los meses y los hábitats. Los GAM se realizaron con la función `gam` del paquete “`mgcv`” (V. 1.9-0) en el programa R (V. 4.3.0). Posteriormente, para evaluar las diferencias en la composición de ensamblajes de plantas y grupos funcionales de visitantes florales por hábitat y por temporadas (lluvias: junio y agosto; secas: enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre) se realizaron análisis de varianza permutacional (PERMANOVA) usando la abundancia (Índice de Similitud de Bray-Curtis). En estos análisis las variables de respuestas fueron: 1- para las plantas: abundancia de todas las formas de vida de las plantas con flores, de sólo leñosas, de sólo herbáceas, en lluvias y en secas) 2- para los visitantes (abundancia de visitantes en todas las formas de vida, en plantas leñosas, en herbáceas, en lluvias y en secas). Para todos los casos la variable explicativa fue los hábitats. Los PERMANOVA se realizaron con la función `adonis2` del paquete “`vegan`” (V. 2.6-4) en el programa R (V. 4.3.0). Para visualizar estas diferencias se usaron análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS). Los NMDS se realizaron con la función `metaMDS` del paquete “`vegan`” (V. 2.6-4) en el programa R (V. 4.3.0).

## **RESULTADOS**

### **Generales**

El tiempo de observación durante las nueve salidas a campos fue de 27.3 horas. En promedio, el número de horas de observación por hábitat fue de 6.8 horas. El número total de familias y de especies de plantas con flores registradas en el hábitat sucesión

natural fue el más alto (Tabla 1). El número más alto de grupos funcionales de visitantes florales se registró en los sitios bajo restauración (i.e., plantaciones y sucesión natural; Tabla 1).

En el hábitat perturbado se registraron nueve especies de plantas con flores exclusivas de ese hábitat: seis hierbas (*Sanvitalia procumbens* Lam., *Dalea humilis* G. Don, *Senna uniflora* (Mill.) H.S. Irwin & Barneby, *Rhamnaceae* Juss., *Russelia coccinea* (L.) Wettst, *Lantana* sp2 L.) y tres árboles (*Celtis caudata* Planch., *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth., *Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten y Baker f. ). En la sucesión natural se registraron cuatro especies de plantas con flores exclusivas: tres hierbas (*Ipomoea bracteata* Cav., *Croton ciliatoglandulifer* Ortega, *Oxalis* sp. L.) y un árbol (*Crescentia alata* Kunth). En las plantaciones se registraron dos especies de árboles con flores exclusivos de ese hábitat: *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. y *Pseudobombax ellipticum* (Kunth) Dugand. En el hábitat conservado se registraron seis especies de plantas con flores exclusivas: dos hierbas (*Tragoceros americanum* (Mill.) S.F. Blake, *Plumbago* sp. L.) y cuatro árboles (*Plumeria acutifolia* Poir., *Bursera grandifolia* (Schltdl.) Engl., *Mariosousa coulteri* (Benth.) Seigler & Ebinger y *Ruprechtia fusca* Fernald). El 8 % de las especies de plantas (N = 4 spp.) que fueron registradas con flores durante este periodo estuvieron presentes en los cuatro hábitats, los arbustos: *Euphorbia schlehtendalii* Boiss. y *Randia echinocarpa* DC. y los árboles: *Bursera copallifera* (DC.) Bullock y *Vachellia campechiana* (Mill.) Seigler & Ebinger.

Tabla 1. Total de familias y especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales registrados en cuatro hábitats de la selva estacionalmente seca en El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

<b>Hábitat</b>	<b>Plantas</b>		<b>Visitantes florales</b>
	<b>Familias</b>	<b>Especies</b>	<b>Grupos funcionales</b>
Perturbado	14	25	14
Sucesión Natural	14	28	15
Plantaciones	12	22	15
Conservado	12	20	14

## Fenología floral

Durante los nueve meses evaluados se registraron 48 especies de plantas con flores: 17 árboles, 5 arbustos y 26 herbáceas (Apéndice 9). *Iresine latifolia* (M. Martens & Galeotti) Benth. & Hook. f. (Amaranthaceae) fue la especie con la floración más extendida, se registró en floración durante cinco meses de noviembre a marzo (Apéndice 10). Las especies con mayor densidad floral por mes fueron el árbol *Haematoxylum brasiletto* H. Karst (Fabaceae) en marzo con 1,995 flores/m<sup>3</sup> y la hierba *Bidens* sp. (Asteraceae) en agosto con 1,871 flores/m<sup>3</sup>. El mes con mayor densidad floral fue marzo, con 4,539 flores/m<sup>3</sup> y el de menor densidad floral fue abril, con 259 flores/m<sup>3</sup>. En el mes de noviembre fue cuando se registró la mayor riqueza de plantas con flores, con 16 especies y en abril se registró la menor riqueza, con sólo 3 especies. La fenología floral, incluyendo todas las formas de vida, y todos los hábitats, presentó tres picos de riqueza de especies con flores, el primero fue en febrero y marzo con 10 especies en cada mes, el segundo fue en junio, con 12 especies y el tercero fue en noviembre, con 16 especies de plantas registradas con flores (Apéndice 10). La planta que aportó el mayor recurso floral y la riqueza de especies cambió a lo largo del tiempo para todos los hábitats (Figs. 1, 2,3 y 4). En el hábitat perturbado, las especies que desplegaron la mayor densidad floral fueron *Russelia coccinea* (Scrophulariaceae) con 530 flores/m<sup>3</sup> y *Bidens* sp. con 425 flores/m<sup>3</sup>; en este hábitat, los meses donde se registró la mayor densidad floral fueron agosto con 1,109 flores/m<sup>3</sup> y junio con 988 flores/m<sup>3</sup> (Fig. 1). En la sucesión natural, *Bidens* sp. desplegó la mayor densidad floral con 978 flores/m<sup>3</sup>; en este hábitat, en los meses de junio (1,109 flores/m<sup>3</sup> ) y agosto se desplegó la mayor densidad floral (1,082 flores/m<sup>3</sup>; Fig. 2). En las plantaciones de restauración, las especies que desplegaron la

mayor densidad floral fueron *H. brasiletto* con 1,501 flores/m<sup>3</sup> y *Bidens* sp. con 468 flores/m<sup>3</sup>; en este hábitat, en marzo se registró la mayor densidad floral con 1,581 flores/m<sup>3</sup>(Fig. 3). Finalmente, en el hábitat conservado, *H. brasiletto* y *Plumbago* sp. (Plumbaginaceae) desplegaron la mayor densidad floral con 750 y 600 flores/m<sup>3</sup> respectivamente; en este hábitat, en el mes de marzo se desplegó la mayor densidad floral con 2,044 flores/m<sup>3</sup> (Fig. 4).

### Perturbado

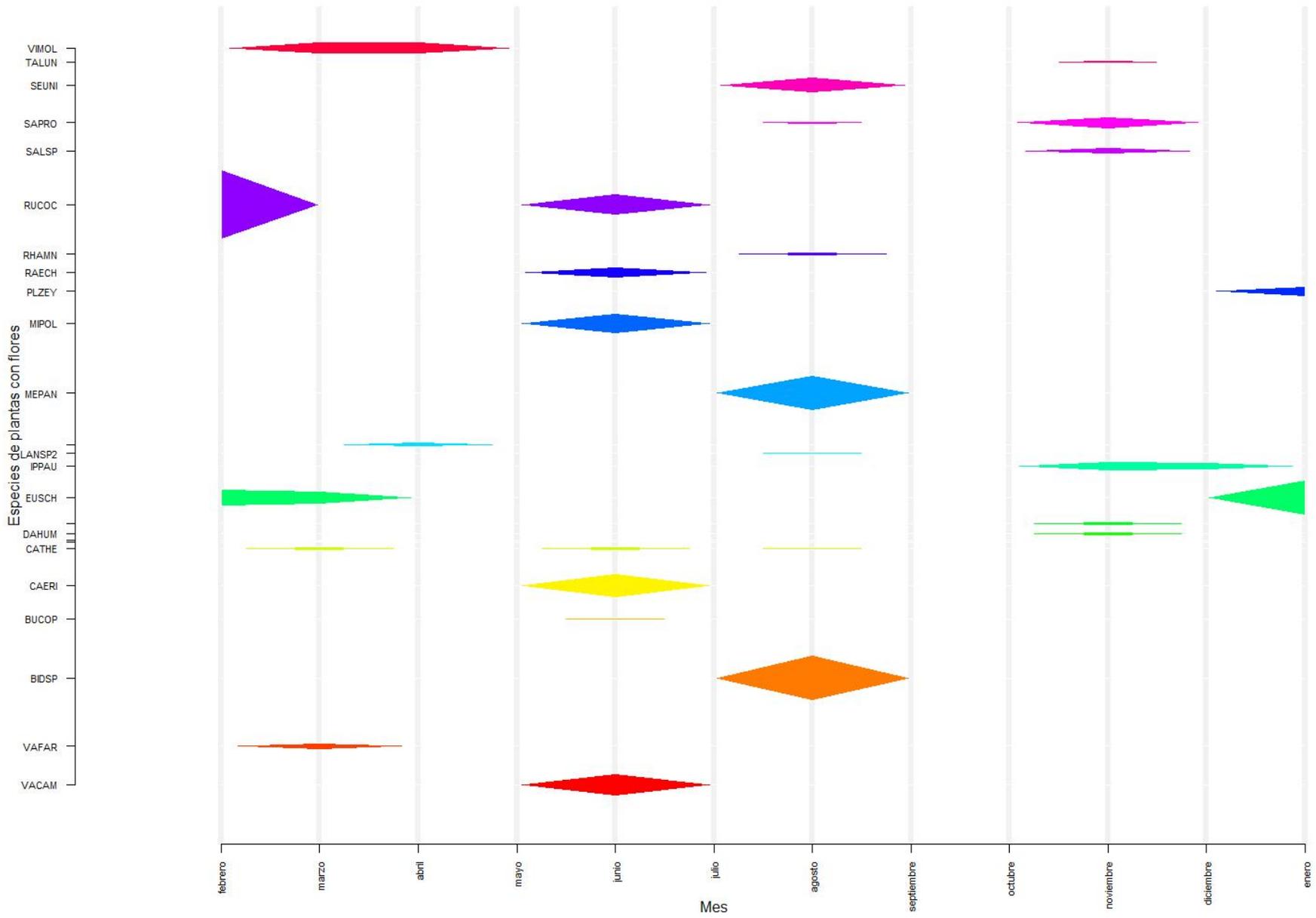


Figura 1. Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en un hábitat perturbado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat.

Especies: BIDSP: *Bidens* sp., BUCOP: *Bursera copallifera*, CAERI: *Calliandra eriophylla*, CATHE: *Cascabela thevetioides*, DAHUM: *Dalea humilis*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, LANSP2: *Lantana* sp2., MEPAN: *Melampodium paniculatum*, MIPOL: *Mimosa polyantha*, PLZEY: *Plumbago zeylanica*, RAECH: *Randia echinocarpa*, RHAMN: Rhamnaceae sp, RUCOC: *Russelia coccinea*, SALSP: *Salvia* sp., SAPRO: *Sanvitalia procumbens*, SEUNI: *Senna uniflora*, TALUN: *Tagetes lunulata*, VACAM: *Vachellia campechiana*, VAFAR: *Vachellia farnesiana*, VIMOL: *Vitex mollis*.

### Sucesión natural

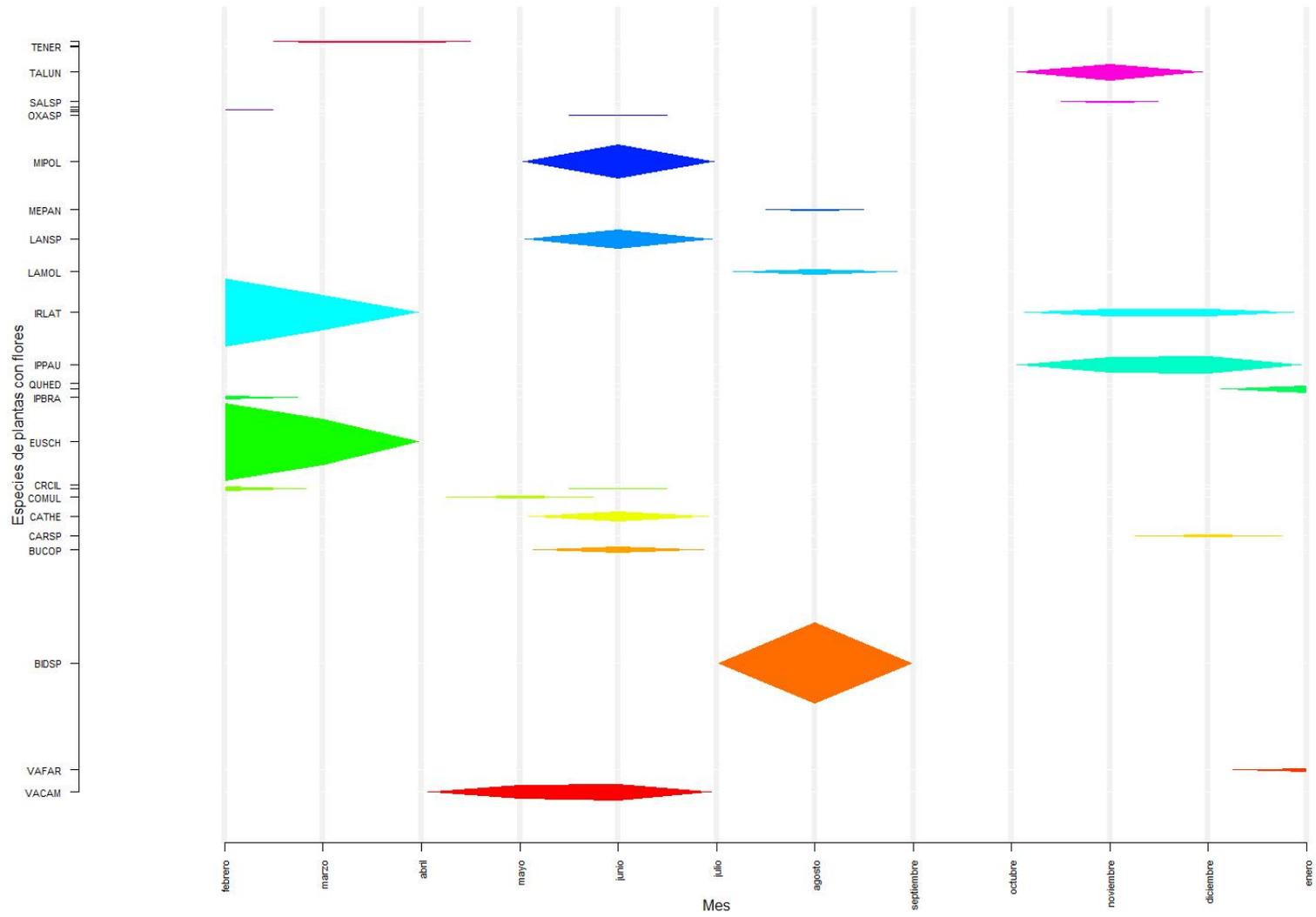


Figura 2. Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en el hábitat de sucesión natural de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat.

Especies: BIDSP: *Bidens* sp., BUCOP: *Bursera copallifera*, CARSP: *Carlowrightia* sp., CATHE: *Cascabela thevetioides*, COMUL: *Conzattia multiflora*, CRCIL: *Croton ciliatoglandulifer*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, IPBRA: *Ipomoea bracteata*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, IRLAT: *Iresine latifolia*, LAMOL: *Lagascea mollis*, LANSP: *Lantana* sp., MEPAN: *Melampodium paniculatum*, MIPOL: *Mimosa polyantha*, OXASP: *Oxalis* sp., QUHED: *Quamoclit hederifolia*, SALSP: *Salvia* sp., TALUN: *Tagetes lunulata*, TENER: *Tetramerium nervosum*, VACAM: *Vachellia campechiana*, VAFAR: *Vachellia farnesiana*.

### Plantaciones

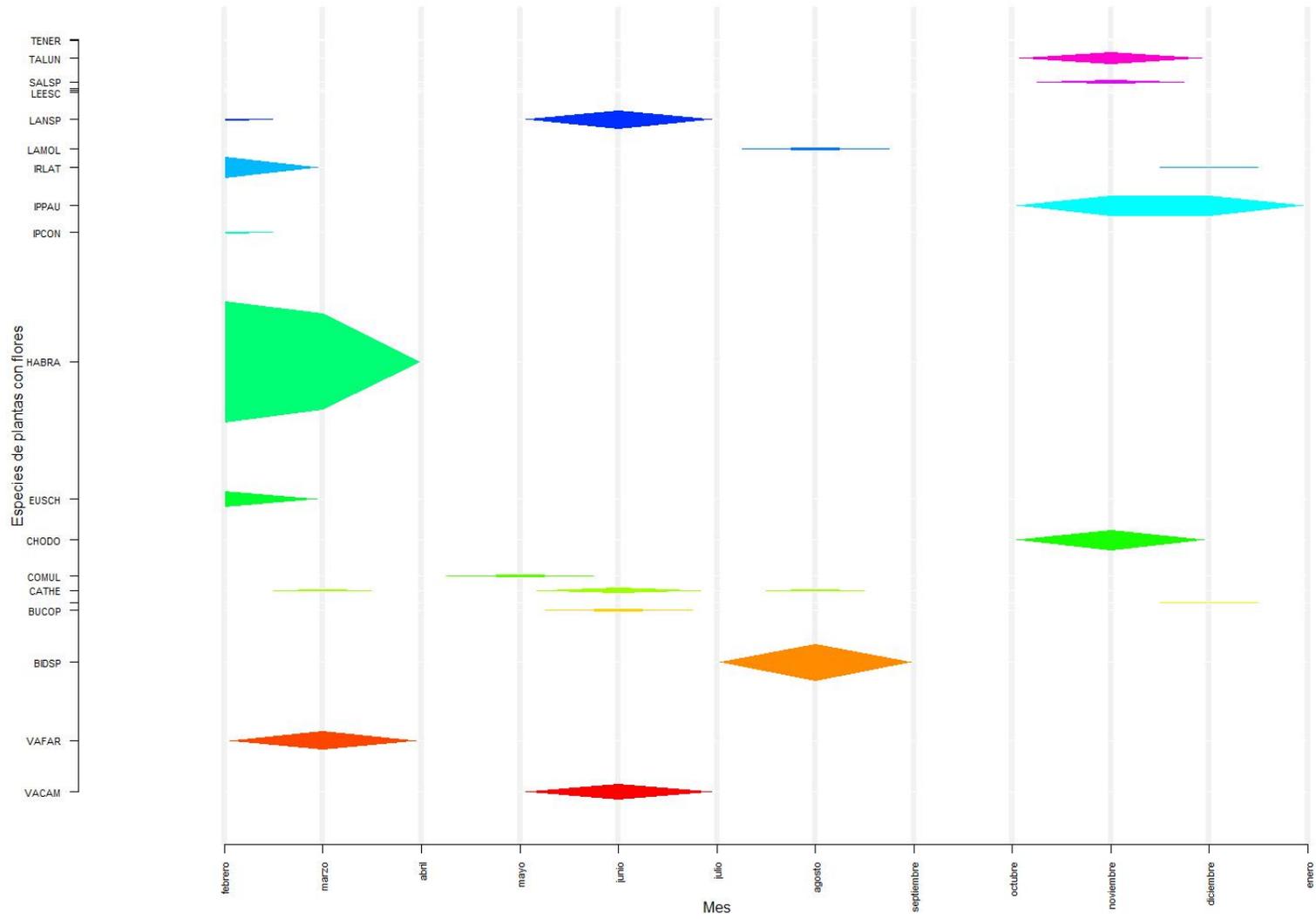


Figura 3. Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en plantaciones de restauración de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat.

Especies: BIDSP: *Bidens* sp., BUCOP: *Bursera copallifera*, CATHE: *Cascabela thevetioides*, CHODO: *Chromolaena odorata*, COMUL: *Conzattia multiflora*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, HABRA: *Haematoxylum brasiletto*, IPCON: *Ipomoea conzattii*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, IRLAT: *Iresine latifolia*, LAMOL: *Lagascea mollis*, LANSP: *Lantana* sp., LEESC: *Leucaena esculenta*, SALSP: *Salvia* sp., TALUN: *Tagetes lunulata*, TENER: *Tetramerium nervosum*, VACAM: *Vachellia campechiana*, VAFAR: *Vachellia farnesiana*.

### Conservado

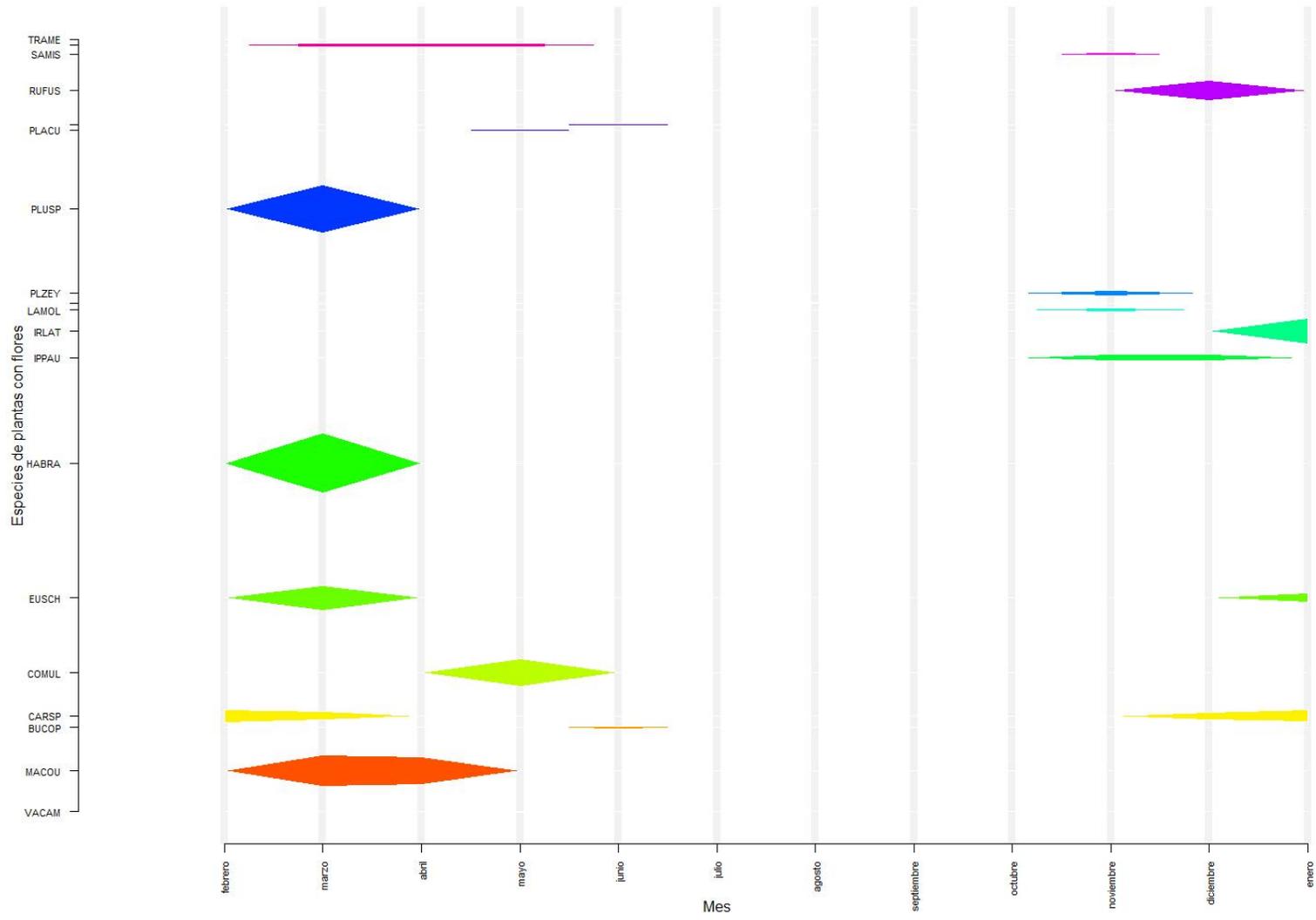


Figura 4. Variación temporal de la densidad floral de las especies vegetales en un hábitat conservado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota la densidad floral (número de flores/m<sup>3</sup>) de cada especie. Los ejes y los colores utilizados para las especies de plantas difieren por hábitat.

Especies: BUCOP: *Bursera copallifera*, CARSP: *Carlowrightia* sp., COMUL: *Conzattia multiflora*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, HABRA: *Haematoxylum brasiletto*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, IRLAT: *Iresine latifolia*, LAMOL: *Lagascea mollis*, MACOU: *Mariosousa coulteri*, PLACU: *Plumeria acutifolia*, PLUSP: *Plumbago* sp., PLZEY: *Plumbago zeylanica*, RUFUS: *Ruprechtia fusca*, SAMIS: *Salvia misella*, TRAME: *Tragoceros americanum*, VACAM: *Vachellia campechiana*.

## **Grupos funcionales de visitantes florales**

Durante los nueve meses se registraron 1,245 visitantes florales de 15 grupos funcionales. El 70 % de los visitantes florales registrados pertenecieron al orden Hymenoptera. Los grupos funcionales “abejas” y “avispa chicas” se registraron durante el mayor número de meses (9 meses) (Apéndice 11). Además, estos dos grupos funcionales fueron registrados con la mayor abundancia en marzo: de abejas se registraron 140 individuos mientras que de avispa chicas se registraron 116 individuos en todos los hábitats. El mes con mayor abundancia de individuos de visitantes florales, fue marzo con 359 visitantes mientras que el mes cuando se registró la menor abundancia fue en mayo con 17 visitantes, ambos meses corresponden a la época de secas. En marzo también se registró la mayor riqueza de grupos funcionales, con 14 grupos registrados mientras que en mayo se registró la menor riqueza de grupos funcionales, con 7 grupos registrados (Apéndice 11). El principal grupo funcional de visitantes florales, según el número de visitas realizadas, cambió a lo largo de la temporada de floración en los cuatro hábitats (Figs. 5, 6, 7 y 8). Los grupos funcionales de abejas y avispa chicas se registraron con mayor número de visitas en tres de los hábitats (Figs. 5, 6, 8). En el hábitat conservado se registraron 332 visitas de abejas y 240 de avispa chicas; en el hábitat sucesión natural se registraron 539 visitas de abejas y 388 visitas de avispa chicas, mientras que en el perturbado se registraron 239 visitas de abejas y 162 visitas de avispa chicas. El mes que recibió la mayor cantidad de visitas en el hábitat conservado y la sucesión natural con 306 visitas en cada uno y en el hábitat perturbado con 155 visitas fue marzo (Figs. 5, 6 y 8). En las plantaciones de restauración, los grupos funcionales de visitantes con mayor número de

visitas fueron las abejas con 515 visitas y las mariposas medianas con 122 visitas. En este hábitat, febrero fue el mes más visitado con 369 visitas (Fig. 7).

### Perturbado

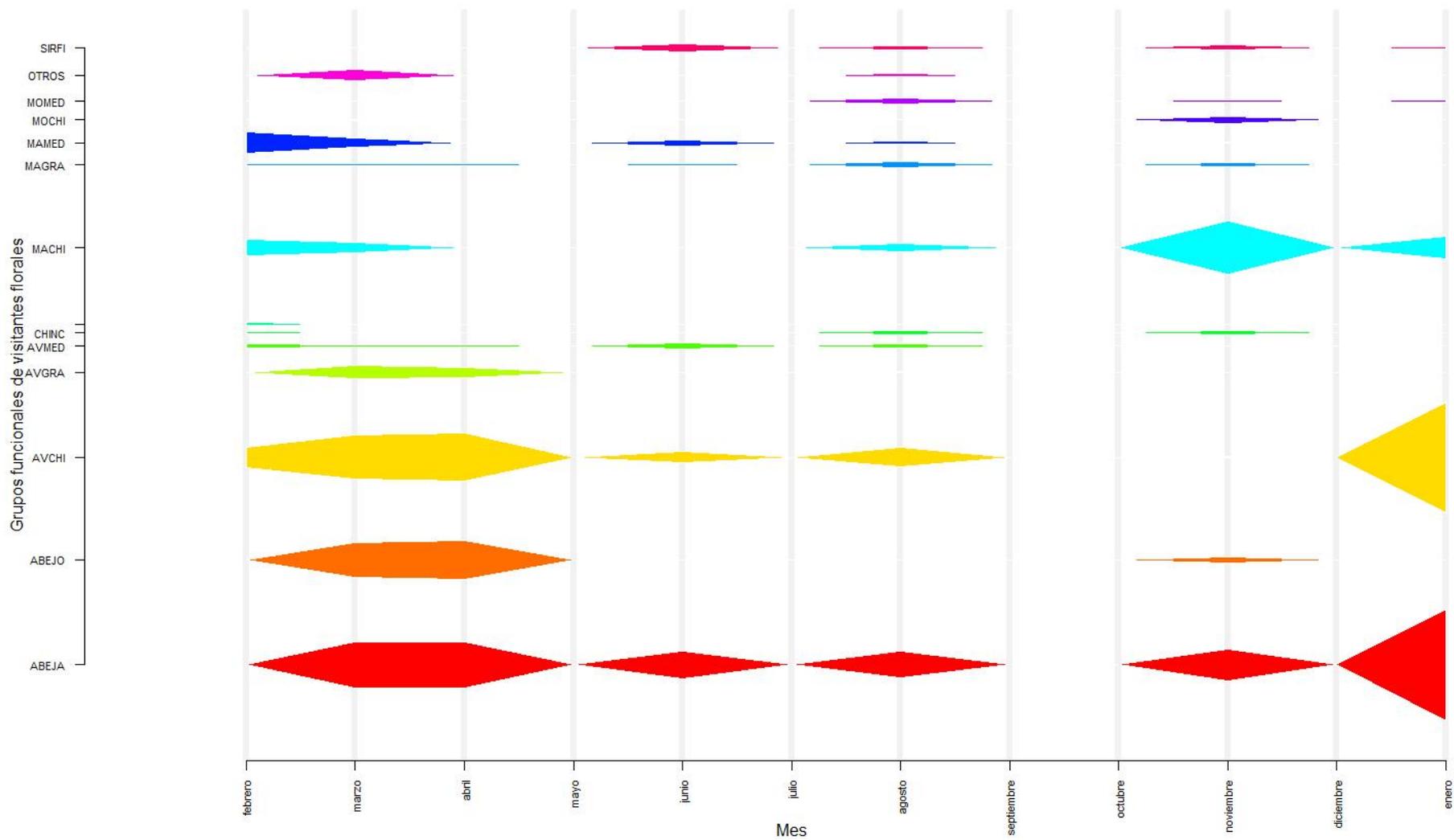


Figura 5. Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat perturbado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional.

Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVMED: avispa mediana; AVGRA: avispa grande; CHINC: chinche; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; OTROS: catarina, colibrí, escarabajo, grillos, no identificado y mosquito; SIRFI: sírfido.

### Sucesión natural

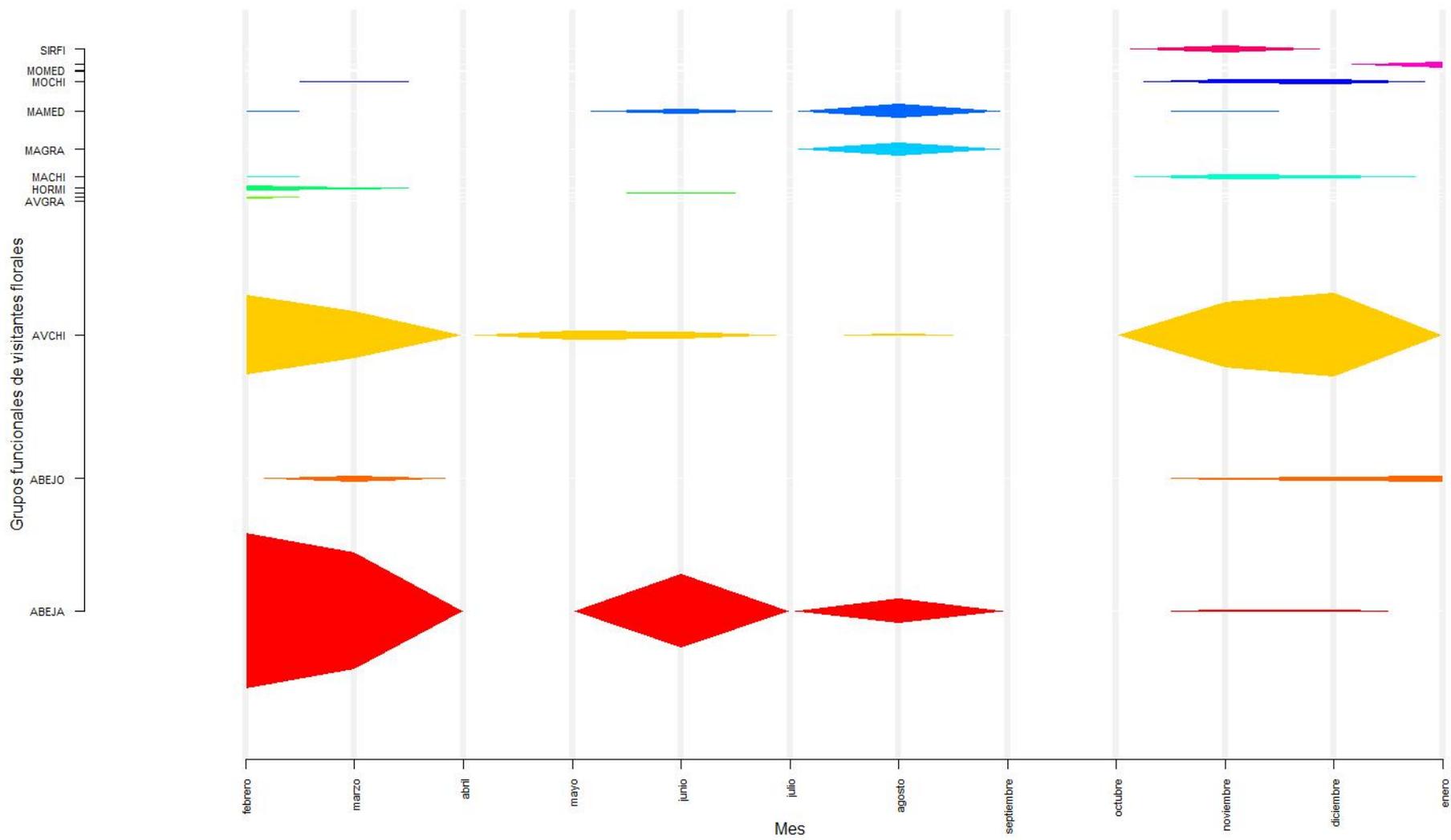


Figura 6. Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat de sucesión natural de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional.

Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVGRA: avispa grande; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; SIRFI: sírfido.

### Plantaciones

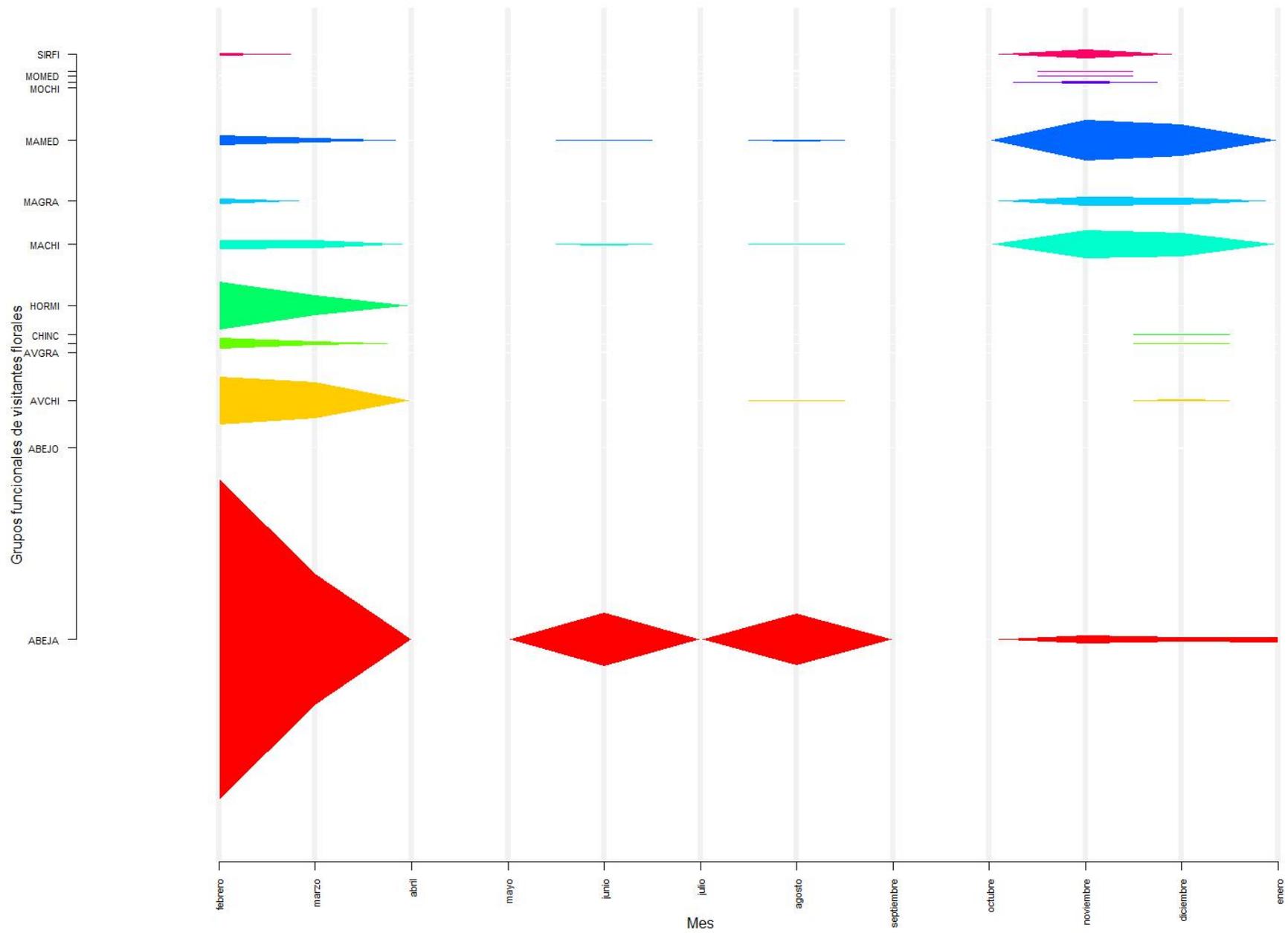


Figura 7. Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en plantaciones de restauración de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional.

Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVGRA: avispa grande; CHINC: chinche; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; SIRFI: sírfido.

### Conservado

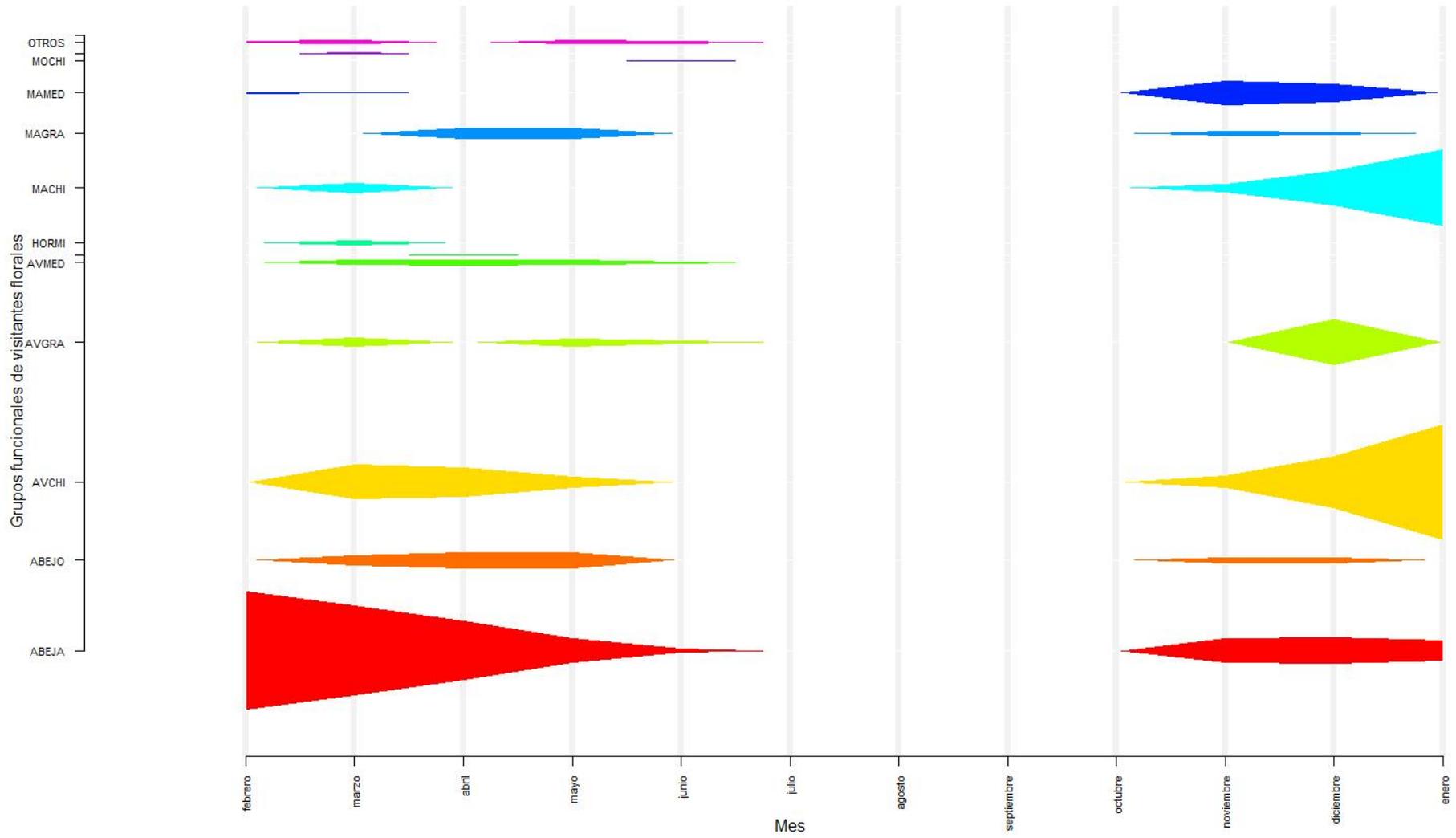


Figura 8. Variación temporal del número de visitas de grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat conservado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. El ancho de los diagramas de huso denota el número de visitas de cada grupo funcional.

Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVMED: avispa mediana; AVGRA: avispa grande; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; OTROS: catarina, colibrí, escarabajo, grillos, no identificado y mosquito.

## Riqueza de plantas con flores y densidad floral

### Hábitat y forma de vida

-La riqueza de plantas con flores fue mayor en el hábitat perturbado ( $\bar{x} = 0.54 \pm 0.51$ ) y menor en el hábitat conservado ( $\bar{x} = 0.29 \pm 0.46$ ), mientras que en el hábitat sucesión natural ( $\bar{x} = 0.38 \pm 0.50$ ) y en las plantaciones ( $\bar{x} = 0.31 \pm 0.46$ ) los valores fueron intermedios (Apéndice 12). El ANOVA reveló que la riqueza de plantas flores fue estadísticamente similar entre los hábitats ( $F_{(3, 244)} = 0.16, P > 0.92$ ) (Apéndice 13). La riqueza de hierbas fue mayor en la sucesión natural ( $0.38 \pm 0.50$ ) y menor en el hábitat conservado ( $\bar{x} = 0.29 \pm 0.46$ ). La riqueza de leñosas fue mayor en el hábitat perturbado ( $\bar{x} = 0.54 \pm 0.51$ ) y menor en el conservado ( $\bar{x} = 0.47 \pm 0.48$ ) (Apéndice 12). La riqueza de plantas con flores fue estadísticamente diferente entre las formas de vida ( $F_{(1, 244)} = 6.48, P < 0.05$ ) (Apéndice 13). La riqueza fue estadísticamente similar teniendo en cuenta la interacción de los hábitats con la forma de vida ( $F_{(3, 244)} = 0.14, P > 0.93$ ) (Apéndice 13)

La densidad floral fue similar en los cuatro hábitats en cuanto a mayor valor de media ( $\bar{x} = 2.20$ ) pero para las especies leñosas en todos los casos y fue menor en el hábitat conservado ( $\bar{x} = 1.24$ ) pero para las especies herbáceas (Apéndice 12). El ANOVA mostró que la densidad floral fue estadísticamente similar entre los hábitats ( $F_{(3, 244)} = 0.27, P > 0.84$ ) y estadísticamente diferente entre las formas de vida ( $F_{(1, 244)} = 4.73, P < 0.05$ ). La densidad floral fue estadísticamente similar teniendo en cuenta la interacción de los hábitats con la forma de vida ( $F_{(3, 244)} = 0.27, P > 0.84$ ) (Apéndice 14).

## Hábitat y tiempo

-La riqueza ( $H_{(3,126)} = 1.25$ ,  $P = 0.74$ ) y densidad floral ( $H_{(3,126)} = 1.50$ ,  $P = 0.68$ ) de las especies de plantas con flores fueron similares entre los hábitats. Sí se encontraron diferentes los meses teniendo en cuenta las variables anteriores: riqueza ( $H_{(8,126)} = 35.43$ ,  $P < 0.0001$ ) (Fig. 9) y densidad floral ( $H_{(8,126)} = 42.70$ ,  $P < 0.0001$ ) (Fig. 10). La prueba post-hoc mostró que las diferencias significativas para la riqueza fueron entre marzo y abril ( $P = 0.04$ ), abril y junio ( $P = 0.006$ ), abril y noviembre ( $P = 0.02$ ), junio y mayo ( $P = 0.03$ ) y junio y enero ( $P = 0.02$ ) (Fig. 9). La prueba post-hoc mostró que las diferencias significativas para la densidad floral fueron entre febrero y junio ( $P = 0.03$ ), marzo y abril ( $P = 0.008$ ), marzo y mayo ( $P = 0.02$ ), marzo y enero ( $P = 0.04$ ), abril y junio ( $P = 0.004$ ), abril y noviembre ( $P = 0.01$ ), abril y diciembre ( $P = 0.04$ ), mayo y junio ( $P = 0.008$ ), mayo y noviembre ( $P = 0.02$ ) y junio y enero ( $P = 0.01$ ) (Fig. 10). Dentro de cada hábitat no se encontró un efecto del tiempo sobre la riqueza (Apéndice 15) y la densidad floral (Apéndice 16).

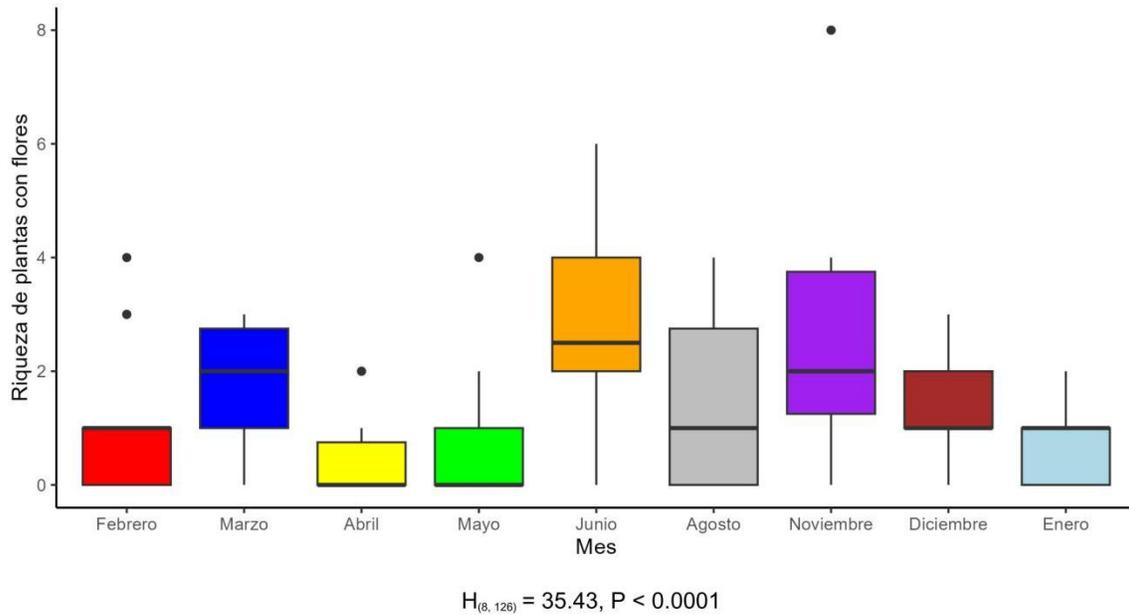


Figura 9. Riqueza de plantas con flores durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son *outlier* u observaciones extremas en los datos.

Diferencias estadísticas significativas según Post-hoc: marzo y abril ( $P = 0.04$ ), abril y junio ( $P = 0.006$ ), abril y noviembre ( $P = 0.02$ ), junio y mayo ( $P = 0.03$ ) y junio y enero ( $P = 0.02$ ).

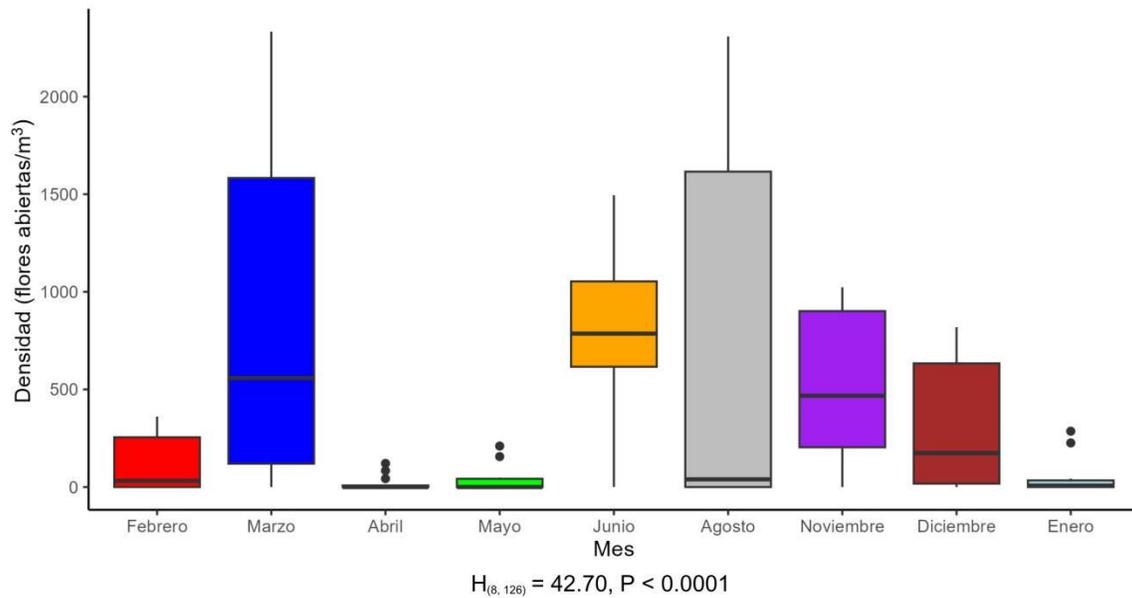


Figura 10. Densidad floral (flores abiertas/m<sup>3</sup>) durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son *outlier* u observaciones extremas en los datos.

Diferencias estadísticas significativas según Post-hoc: febrero y junio (P = 0.03), marzo y abril (P = 0.008), marzo y mayo (P = 0.02), marzo y enero (P = 0.04), abril y junio (P = 0.004), abril y noviembre (P = 0.01), abril y diciembre (P = 0.04), mayo y junio (P = 0.008), mayo y noviembre (P = 0.02) y junio y enero (P = 0.01).

### **Composición de plantas con flores**

El hábitat conservado fue el de mayor diversidad beta observada teniendo en cuenta todas las formas de vida y cuando sólo se consideraron las herbáceas, en cambio para las leñosas las plantaciones presentaron visualmente una mayor diversidad beta o recambio de especies. Las hierbas son la forma de vida con la diversidad beta más alta en todos los hábitats (Apéndice 17). La sucesión natural y las plantaciones en época de lluvias presentaron el mayor recambio de especies (Apéndice 18). En secas, las plantaciones y el hábitat conservado presentaron mayor diversidad beta (Apéndice 18). La composición de plantas con flores de todas las formas de vida ( $R^2 = 0.26$ ,  $P > 0.2$ ; Apéndice 17), de herbáceas ( $R^2 = 0.25$ ,  $P > 0.3$ ; Apéndice 17) y de leñosas ( $R^2 = 0.25$ ,  $P > 0.3$ ; Apéndice 17) fue similar entre los hábitats. La composición de plantas con flores de todas las formas de vida también fue similar entre hábitats en lluvias ( $R^2 = 0.30$ ,  $P > 0.1$ ) y en secas ( $R^2 = 0.26$ ,  $P > 0.2$ ; Apéndice 18).

### **Riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales**

La riqueza de grupos funcionales de visitantes florales fue más alta en el hábitat perturbado (mediana= 4; Apéndice 19), mientras que fue menor en las plantaciones de restauración (mediana= 0; Apéndice 19). El análisis de Kuskal-Wallis reveló que la riqueza de grupos funcionales de visitantes florales fue estadísticamente similar en los cuatro hábitats ( $H_{(3,126)} = 1.56$ ,  $P = 0.66$ ; Apéndice 19). La abundancia de visitantes florales fue más alta en el hábitat perturbado, mientras que fue menor en las plantaciones. El análisis de Kuskal-Wallis reveló que la abundancia de visitantes florales fue similar en los cuatro hábitats ( $H_{(3,126)} = 0.78$ ,  $P = 0.85$ ; Apéndice 20).

La riqueza de grupos funcionales de visitantes florales fue mayor en marzo/noviembre (mediana= 4) y menor en abril/mayo (mediana = 0). El análisis de Kuskal-Wallis reveló que la riqueza de grupos funcionales de visitantes florales difirió por efecto del mes ( $H_{(8,126)} = 24.41$ ,  $P = 0.001$ ; Fig. 11). La prueba post-hoc mostró que la riqueza de grupos funcionales de visitantes florales difirió significativamente entre marzo y mayo ( $P = 0.04$ ). La abundancia de grupos funcionales de visitantes florales fue mayor en marzo y menor en abril/mayo (mediana = 0). El análisis de Kuskal-Wallis reveló que la abundancia de grupos funcionales de visitantes florales difirió por efecto del mes ( $H_{(8,126)} = 24.53$ ,  $P = 0.001$ ; Fig. 12). La prueba post-hoc mostró que la abundancia de grupos funcionales de visitantes florales difirió significativamente entre marzo y mayo ( $P = 0.01$ ).

El modelo aditivo generalizado (GAM) reveló que la interacción del hábitat y el tiempo no fue significativa para la riqueza de grupos funcionales de visitantes florales (Apéndice 21). Este modelo reveló que dicha interacción no fue significativa para la abundancia de grupos funcionales de visitantes florales (Apéndice 22).

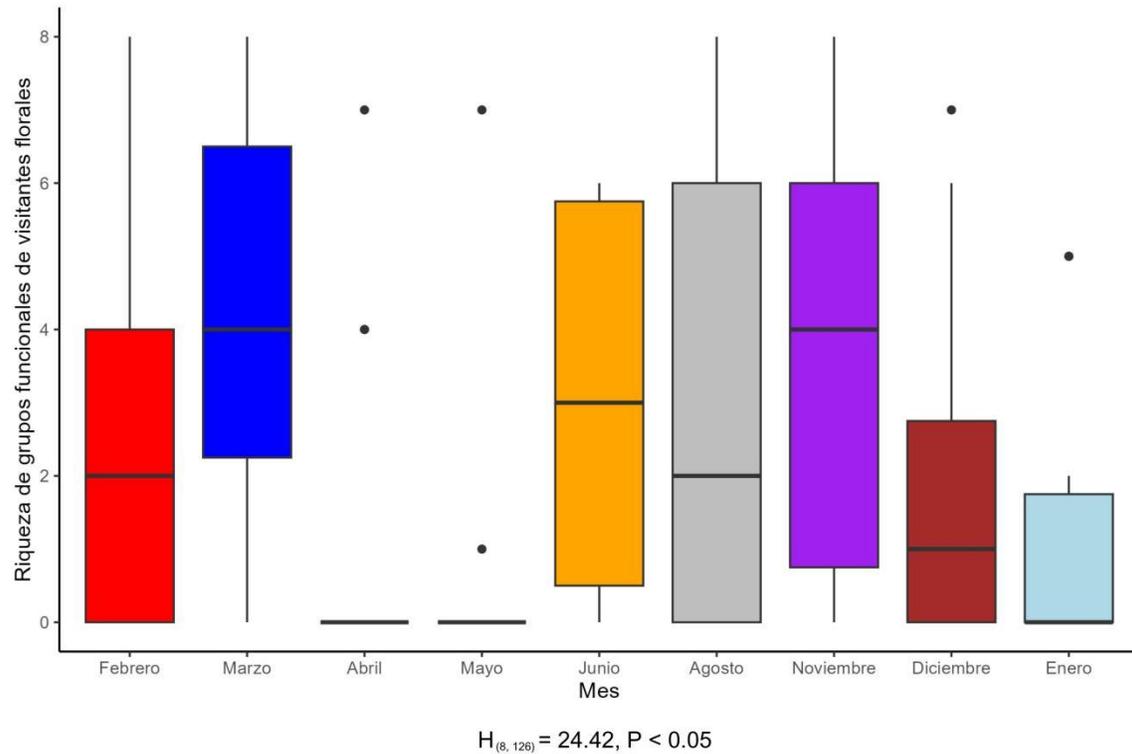
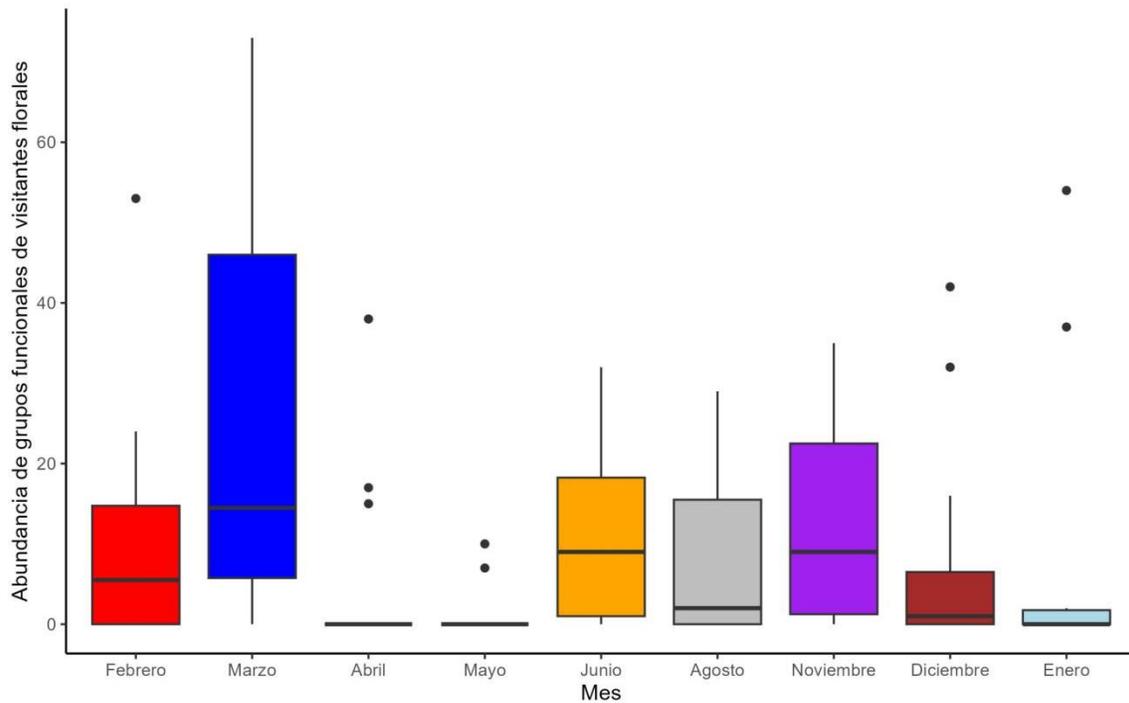


Figura 11. Riqueza de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son *outlier* u observaciones extremas en los datos.

Diferencias estadísticas significativas según Post-hoc: marzo y mayo ( $P = 0.04$ ).



$$H_{(8, 126)} = 24.54, P < 0.05$$

Figura 12. Abundancia de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son *outlier* u observaciones extremas en los datos.

Diferencias estadísticas significativas según Post-hoc: marzo y mayo ( $P = 0.02$ ).

## **Composición de grupos funcionales de visitantes florales**

En el hábitat bajo sucesión natural se registró la mayor diversidad beta (i.e., tamaño del polígono) de grupos funcionales de visitantes florales. El hábitat conservado fue el más variado en composición cuando sólo se tuvieron en cuenta los grupos que visitaron a las herbáceas (Apéndice 23). Los grupos funcionales que visitaron a las leñosas variaron más en su composición en las plantaciones de restauración (Apéndice 23). La sucesión natural fue el hábitat de mayor diversidad beta de grupos funcionales tanto en lluvias como en secas (Apéndice 24). La composición de grupos funcionales de visitantes florales de todas las formas de vida fue similar entre los cuatro hábitats ( $R^2 = 0.16$ ,  $P > 0.8$ ; Apéndice 23). La composición también fue similar entre hábitats cuando se evaluó a las hierbas ( $R^2 = 0.23$ ,  $P > 0.4$ ; Apéndice 23) y sólo a las leñosas ( $R^2 = 0.20$ ,  $P > 0.6$ ; Apéndice 23) La composición también fue similar en la temporada de lluvias ( $R^2 = 0.23$ ,  $P > 0.6$ ) y en la de secas ( $R^2 = 0.16$ ,  $P > 0.8$ ; Apéndice 24).

## **DISCUSIÓN**

### **Plantas con flores**

Contrario a nuestra hipótesis la riqueza de plantas con flores fue similar entre hábitats. La riqueza de plantas con flores registrada durante nueve meses en este estudio ( $N = 48$  especies) representó solo el 5.11 % del total de plantas vasculares registradas para toda la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (CONANP, 2005). La mayor riqueza de plantas con flores registradas en la sucesión natural puede estar asociada con la hipótesis de la perturbación intermedia (Connell, 1978; Ward & Stanford, 1983); esta hipótesis establece

que la diversidad de especies alcanza su punto máximo en condiciones de disturbio intermedio. Cortés-Flores et al. (2023), en la selva estacionalmente seca de Chamela-Cuixmala, encontraron mayor diversidad de plantas con flores en la sucesión intermedia y tardía que en la temprana. Estos autores consideraron sitios de sucesión intermedia los de 12-16 años de sucesión; nuestros sitios de sucesión natural tienen aproximadamente 17 años por lo cual se pueden considerar en esta etapa intermedia. Además, la mayor riqueza de plantas con flores en la sucesión natural puede estar relacionada a la presencia de más formas de vida en comparación con los otros hábitats; por ejemplo, en el proceso de sucesión natural los ecosistemas cambian sus condiciones naturales y aparecen nuevas formas de vida vegetal y animal (Revisado en Poorter et al., 2023). El hábitat que tuvo el segundo lugar en riqueza fue el perturbado, que también puede tener más formas de vida que el conservado y las plantaciones porque al estar bajo uso ganadero se establecen especies ruderales, exóticas y malezas (De la O-Toris, 2012), que incrementan la floración en el hábitat.

En este estudio registramos la menor riqueza de plantas con flores en el hábitat conservado (i.e, sucesional tardía). En este hábitat, la presencia de árboles de mayor tamaño limita el desarrollo de herbáceas y arbustos debido a la competencia por recursos, como la luz y el agua, resultando en una menor disponibilidad de plantas con flores. En la selva estacionalmente seca de Centroamérica se registró que una vez que se establecen los árboles se modificaron las condiciones microambientales que favorecen el establecimiento de las hierbas (Griscom & Ashton, 2011). También en sistemas silvopastoriles de una Estación Experimental en Argentina, se registró que la cantidad y calidad de radiación solar incidente actuó como el factor limitante principal del pastizal

(Acciaresi et al. (1993). A medida que se cierra la cubierta arbórea la producción de herbáceas decrece (Acciaresi et al.,1993); razón posible por la que encontramos menor riqueza de plantas en los hábitats conservado y plantaciones. Además, de la O-Toris et al. (2012), encontraron en la misma localidad de nuestro estudio que la mayor riqueza de herbáceas se registró en la selva estacional secundaria (excluida o no de la ganadería) en comparación con la de la selva conservada. Nosotros encontramos que precisamente los hábitats de sucesión natural (excluido de la ganadería), perturbado (no excluido de la ganadería) y plantaciones (no estudiado por de la O-Toris et al. (2012)) presentaron la mayor cantidad de especies de hierbas con flores. Este comportamiento de aumento de riqueza de hierbas en hábitat perturbados se ha registrado en pastizales naturales (McIntyre et al., 2003; López-Mársico & Altesor, 2011). Cortés-Flores et al. (2023), registraron que todos los hábitats fueron similares en cuanto a la riqueza de plantas con flores, algo corroborado por nosotros en el presente estudio.

En el hábitat perturbado encontramos la mayor cantidad de plantas considerando todas las formas de vida y solo las hierbas con flores con presencia exclusiva, contrario a lo registrado por de la O-Toris et al. (2012). Estos autores encontraron mayor cantidad de hierbas exclusivas en la sucesión natural, y el hábitat perturbado presentó incluso menos hierbas que el conservado. En nuestro estudio el de menor hierbas exclusivas fue el conservado sin tener en cuenta las plantaciones que presentó solo dos especies de árboles exclusivos, además este hábitat no fue estudiado en 2012. Quizás la diferencia entre los dos estudios puede estar asociada a la diferencia de años del experimento y con ello a la madurez del hábitat de sucesión. Por otro lado, puede que la perturbación haya disminuido en frecuencia e intensidad permitiendo la presencia de más herbáceas en estos

sitios. De la O-Toris et al. (2012) encontraron el 16 % de las especies (en su caso hierbas) en todos los sitios, en nuestro estudio este dato fue del 8 % y ninguna especie fue hierba. A 17 años del experimento, aunque no se encontraron diferencias entre los hábitats si existe una diferenciación en la identidad de las plantas presentes. Contrario a nuestros resultados, de la O-Toris et al. (2012) sí encontraron diferencias en la riqueza de plantas entre el hábitat conservado y los sin excluir y excluidos de la perturbación. De Souza et al. (2022) en una selva húmeda en Brasil encontraron diferencias en la composición de plantas entre áreas de sucesión natural y plantaciones; planteamiento contrario a nuestros resultados. No se cumplió nuestra hipótesis al no encontrar diferencias entre los hábitats en cuanto a la composición de plantas con flores.

Una de las dos especies de árboles con presencia exclusiva en las plantaciones fue *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. (Fabaceae). Las leguminosas pueden comportarse como inhibidoras de la regeneración de otras especies de plantas, por ejemplo, Staver (1989), encontró que en sitios de barbecho agrícola de un año, la introducción de leguminosas suprimió el crecimiento de especies herbáceas y la regeneración natural de árboles y hierbas. También Ávila-Rodríguez (2014), registró que las plantaciones de leguminosas (*Lupinus* spp.) controlaron la regeneración de pastos exóticos durante 15 meses de muestreo. Quizás la no presencia de hierbas o arbustos exclusivos en este hábitat y la baja cantidad de árboles esté asociado a la presencia de leguminosas.

De acuerdo a nuestra hipótesis la riqueza de plantas con flores difirió entre meses. La mayor riqueza de plantas con flores fue en noviembre (16 especies) y junio (12 especies). Hernández-Galindo (2016), registró en su estudio en esta localidad, pero teniendo en cuenta sólo a los árboles de seis parcelas (ninguna conservada) a diciembre y

mayo, como los meses de mayor riqueza de plantas con flores (siete especies). Esta autora registró a enero y agosto como los de menor riqueza (una especie de fabácea) y nosotros a abril (tres especies, dos de ellas fabáceas). Al parecer en los meses donde disminuye el recurso floral las fabáceas leñosas son importantes en mantener a las poblaciones de visitantes florales.

De acuerdo a nuestra hipótesis la densidad floral difirió entre meses. Nosotros registramos la mayor densidad floral en marzo, Méndez et al. (2022) en su estudio sobre la disponibilidad y utilización de los recursos poliníferos por *Apis mellifera* L. en un valle conformado por cerros en Argentina, encontraron que en dos periodos (2014-2015, 2015-2016) hacia fines de la temporada apícola (marzo) se observó un segundo pico de floración en el que el principal aporte estuvo dado por las especies herbáceas. En nuestro estudio abril resultó ser el de menor densidad floral quizás porque sólo había una forma de vida con flores (árboles). Los meses donde no se registraron herbáceas con flores fueron los de menores valores de densidad floral. Además, para la sucesión natural y el hábitat perturbado las especies con valores más altos de densidad floral fueron herbáceas. Esto sugiere que las herbáceas constituyen un grupo importante en el mantenimiento de las interacciones mutualistas (planta-insecto) en la localidad.

### **Grupos funcionales de visitantes florales**

Contrario a nuestra hipótesis la riqueza, abundancia y composición de grupos funcionales de visitantes florales fue similar entre hábitats. Nosotros registramos cuatro órdenes de visitantes florales, Hernández-Galindo (2016) encontró cinco órdenes de visitantes (sólo insectos) pero dos de ellos con sólo 1 % de presencia. En nuestro estudio el 70 % de los

visitantes fueron himenópteros, coincidiendo con Hernández-Galindo (2016) que registró el 72 %. Hernández-Galindo (2016) encontró la mayor cantidad de morfoespecies de insectos en el hábitat de la sucesión natural, en este mismo hábitat registramos el mayor número de interacciones planta - grupo funcional de visitante. Contrario a nuestros resultados, De Souza et al. (2022) encontraron diferencias significativas en la abundancia y composición de visitantes florales entre áreas de sucesión natural y plantaciones. Tanto nosotros como Hernández-Galindo (2016) encontramos similares a los hábitats en cuanto a la riqueza de visitantes florales; en cambio Cortés-Flores et al. (2023) en otra selva estacionalmente seca registró una mayor riqueza de visitantes florales en la sucesión intermedia y tardía. Quizás la similitud en nuestro estudio puede deberse a que los sitios (perturbados, sucesión natural y plantaciones) se encuentran en ocasiones relativamente cerca y los visitantes pueden moverse entre los hábitats (no en el conservado, este se encuentra más alejado). Además De Souza et al. (2022) plantean que la distribución irregular de los sitios puede favorecer la circulación de polinizadores entre ellos.

De acuerdo a nuestra hipótesis la riqueza y la abundancia de grupos funcionales de visitantes florales difirió entre meses. La menor abundancia de grupos funcionales de visitantes florales registrada en mayo pudiese ser porque la riqueza de especies con recursos florales para los visitantes fue baja en este mes. Sólo cinco especies con flores y 20 individuos de los cuales 15 eran de la especie *Conzattia multiflora*. Según CONANP (2005), esta especie constituye uno de los árboles más comunes en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. Además, Agüero (2015) encontró en matorrales mixtos en la Patagonia que el recurso floral estuvo asociado a un aumento consistente de la densidad de abejorros, abejas, avispas y sírfidos. La diferencia encontrada entre los meses puede

estar determinada por la densidad floral o la identidad y riqueza de las plantas con flores. Marzo fue el de mayor densidad floral y mayor abundancia de grupos funcionales, en cambio mayo el segundo menor en riqueza y densidad floral y el menor en abundancia de grupos funcionales. Esto sugiere una relación positiva entre la densidad floral y la abundancia de grupos funcionales.

Por otra parte, Quiroz-García et al. (2011) encontraron que las abejas *Scaptotrigona hellwegeri* F. muestran preferencia por algunos recursos cuando se tienen suficientes fuentes de polen, mientras que al disminuir los recursos disponibles recurren a otras especies de plantas para obtener su alimento. Uno de sus sitios de estudio fue una selva baja caducifolia. En nuestro estudio en igual ecosistema, la mayor cantidad de visitantes fueron abejas, quizás esto se debe al comportamiento generalista y adaptación ante el cambio del recurso floral de algunas de ellas. Las abejas fueron el grupo funcional de visitantes florales con la mayor cantidad de interacciones para todos los hábitats, algo documentado en varios ecosistemas (Gómez et al., 2007; Thompson, 2001; Schemske & Horvitz, 1984). Nuestra clasificación en grupos funcionales según el tamaño de los visitantes principalmente, puede ser enriquecida con otros aspectos de la biología de las especies como la longitud de la probóscide, comportamiento durante el forrajeo y ajuste morfológico con la flor (Morente-López et al., 2018; Lara-Romero et al., 2016; Valverde et al., 2014).

## LITERATURA CITADA

- Acciaresi, H.A., Marlats, R.M. & Marquina, J.L. (1993) Sistemas silvopastorales: incidencia de la radiación fotosintéticamente activa sobre la fenología y la producción estacional forrajera. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.*, 2 (1), 20-30.
- Agüero, J.I. (2015) Impacto de abejas invasoras sobre las interacciones planta-polinizador del matorral norpatagónico. Tesis de Doctorado. Escuela de Graduados Ingenieros Agrónomos, Alberto Soriano, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. pp. 166.
- Armbruster, S., Fenster, C., & Dudash, M. (2000) Pollination 'principles' revisited: specialization, pollination syndromes, and the evolution of flowers. *The Scandinavian Association for Pollination Ecology Honours Knut Faegri*, 39, 179-200.
- Ávila-Rodríguez, L.A. (2014) Control de gramíneas exóticas en zonas de páramo alterado a través de matrices de leguminosas arbustivas y herbáceas para la conformación de núcleos de regeneración. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de biología, Bogotá, Colombia. pp. 189.
- Bullock, S.H. (1995) Plant reproduction in neotropical dry forests. En: Bullock, S.H., Mooney, H.A. & Medina, E. (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press. Cambridge, U.S.A. pp. 203-277.
- Castro-Urgal, R. & Traveset, A. (2016) Contrasting Partners' Traits of Generalized and Specialized Species in Flower-Visitation Networks. *PLoS ONE*, 11(3), e0150824. doi:10.1371/journal.pone.0150824.
- Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. & Ellison, A.M. (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84, 45-67.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2005) Programa de Conservación y Manejo, Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. pp. 207.

- Connell, J.H. (1978) Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310.
- Cortés-Flores, J., Lopezaraiza-Mikel, M., de Santiago-Hernández, M.H., Martén-Rodríguez, S., Cristóbal-Pérez, E.J., Aguilar-Aguilar, M.J., Balvino-Olvera, F.J., Delgado-Carrillo, O., Sayago, R., Fuchs, E.J., Sanchez-Montoya, G. & Quesada, M. (2023) Successional and phenological effects on plant-floral visitor interaction networks of a tropical dry forest. *Journal of Ecology*, 111(4), 927-942.
- De la O-Toris, J., Maldonado, B. & Martínez-Garza, C. (2012) Efecto de la perturbación en la comunidad de herbáceas nativas y ruderales de una selva estacional mexicana. *Botanical Sciences*, 90(4), 469-480.
- De Souza, J.M.T., Vazquez, D.P. & Varassin, I.G. (2022) Abundance and phenology drive plant-pollinator network responses to restoration in the Southern Atlantic rainforest in Brazil. *Restoration Ecology*, 30(5), e13588.
- Galarda, I. & Sazima, M. (2012) Spatial heterogeneity and the distribution of bromeliad pollinators in the Atlantic forest. *Acta Oecológica*, 43, 104-112.
- Gibson, R.H., Knott, B., Eberlein, T. & Memmott, J. (2011) Sampling method influences the structure of plant-pollinator networks. *Oikos*, 120, 822-831.
- Gómez, J.M., Bosch, J., Perfectti, F., Fernández, J., Abdelaziz, M. (2007) Pollinator diversity affects plant reproduction and recruitment: The tradeoffs of generalization. *Oecologia*, 153(3), 597-605.
- Griscom, H.P. & Ashton, M.S. (2011) Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management*, 261, 1564-1579.
- Hernández-Galindo, M.D.L.Á. (2016) Fenología floral, expresión sexual de árboles y visitantes florales en sitios de restauración ecológica experimental en Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. pp. 76.
- Hsieh, T.C., Ma, K.H. & Chao, A. (2016) iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1451-1456.

- Kaiser-Bunbury, C.N., Valentin, T., Mougai, J., Matatiken, D. & Ghazoul, J. (2011) The tolerance of island plant-pollinator networks to alien plants. *Journal of Ecology*, 99, 202-213.
- Kremen, C., Williams, N.M., Aizen, M.A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R. (2007) Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10, 299-314.
- Lara-Romero, C., García, C., Morente-López, J. & Iriondo, J.M. (2016) Direct and indirect effects of shrub encroachment on alpine grasslands mediated by plant-flower visitor interactions. *Functional Ecology*, 30, 1521-1530.
- Leigh, Jr.E.G. & Wright, S.J. (1990) Barro Colorado Island and tropical biology. pp. 28-47. En: A.H. Gentry (Ed.), *Four Neotropical Rainforests*. Yale University Press, USA.
- López-Mársico, L. & Altesor, A. (2011) Relación entre la riqueza de especies vegetales y la productividad en pastizales naturales. *Ecología austral*, 21(1), 101-109.
- McIntyre, S., Heard, K. & Martin, T.G. (2003) The relative importance of cattle grazing in subtropical grasslands: does it reduce or enhance plant biodiversity? *Journal of Applied Ecology*, 40, 445-457.
- Medel, R. & Nattero, J. (2009) Selección mediada por polinizadores sobre el fenotipo floral: examinando causas y blancos de selección natural. En: Medel, R., Aizen, M.A. & Zamora, R. (Eds.), *Ecología y evolución de interacciones planta-animal*. Editorial Universitaria, S. A. Santiago de Chile. pp. 77-94.
- Méndez, M.V., Sánchez, C. & Concepción-Lupo, L. (2022) Disponibilidad y utilización de los recursos poliníferos por *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) en el este de las Yungas de Jujuy (Argentina). *Revista de Biología Tropical*, 70, 450-463.
- Morente-López, J., Lara-Romero, C., Ornos, C. & Iriondo, J.M. (2018) Phenology drives species interactions and modularity in a plant-flower visitor network. *Scientific reports*, 8, 1-11.
- Parra-Tabla, V., Abdala-Roberts, L., Téllez, P., Celaya, N., Salinas-Peba, L. & Alonso, C. (2017) Fenología de floración y visitantes florales de especies herbáceas. En: Ramos-Zapata, J., Parra-Tabla, V., Leirana-Alcocer, J., González-Moreno, A. &

- Chiappa-Carrara X. (Eds.), *Ecología funcional de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos*. SIIES-UADY-UNAM.
- Poorter, L., Amissah, L., Bongers, F., Hordijk, I., Kok, J., Laurance, S.G.W., Lohbeck, M., Martínez-Ramos, M., Matsuo, T., Meave, J.A., Muñoz, R., Peña-Claros, M. & van der Sande, M.T. (2023) Successional theories. *Biological Reviews*. doi: 10.1111/brv.12995.
- Primack, R.B. (1985) Patterns of Flowering Phenology in Communities, Populations, Individuals, and Single Flowers. En: White, J. (Eds.), *The Population Structure of Vegetation. Handbook of Vegetation Science*, vol 3. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-5500-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-94-009-5500-4_24)
- Quiroz-García, D.L., Arreguín-Sánchez, M.L. & Fernández-Nava, R. (2011) Patrones estacionales de utilización de recursos florales por *Scaptotrigona hellwegeri* en la estación de biología Chamela, Jalisco, México. *Polibotánica*, 31, 89-119.
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schemske, D.W. & Horvitz, C.C. (1984) Variation among floral visitors in pollination ability: a precondition for mutualism specialization. *Science*, 225(4661), 519-521.
- Staver, C. (1989) Shortened bush fallow rotations with relay-cropped *Inga edulis* and *Desmodium ovalifolium* in wet central Amazonian Peru. *Agroforestry Systems*, 8, 173-196.
- Thompson, J.D. (2001) How do visitation patterns vary among pollinators in relation to floral display and floral design in a generalist pollination system?. *Oecologia*, 126, 386-394.
- TROPICOS, (2024) Tropicos.org, Missouri Botanical Garden, <https://tropicos.org> (consultado mayo de 2024).
- Valverde, J., Calatayud, J., Gómez, J.M. & Perfectti, F. (2014) Variación intraestacional en los visitantes florales de *Erysimum mediohispanicum* en Sierra Nevada. *Ecosistemas*, 23(3), 83-92.
- Valverde, J., Gómez, J.M. & Perfectti, F. (2016) The temporal dimension in individual-based plant pollination networks. *Oikos*, 125, 468-479.

- Vázquez, D.P., Chacoff, N.P. & Cagnolo, L. (2009) Evaluating multiple determinants of the structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecology*, 90(8), 2039-2046.
- Ward, J.V. & Stanford, J.A. (1983) The intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems. En: Fontaine, T.D. & Bartell, S.M. (Eds.), *Dynamics of lotic ecosystems*. Ann. Arbor. Science. Ann Arbor. Michigan. pp. 347-356.
- Waser, N.M., Chittka, L., Price, M.V., Williams, N.M. & Ollerton, J. (1996) Generalization in pollination systems and why it matters. *Ecology*, 77, 1043-1060.
- Williams, C.F., Ruvinsky, J., Scott, P.E. & Hews, S.K. (2001) Pollination, breeding system, and genetic structure in two sympatric *Delphinium* (Ranunculaceae) species. *American Journal of Botany*, 88(9), 1623-1633.
- Williams-Linera, G. & Meave, J. (2002) Patrones fenológicos. En: Guariguata, M.R. & Kattan, G.H. (Eds.), *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. pp. 407-431). 1<sup>ra</sup> Edición, Editorial Libro Universitario Regional.

## APÉNDICES

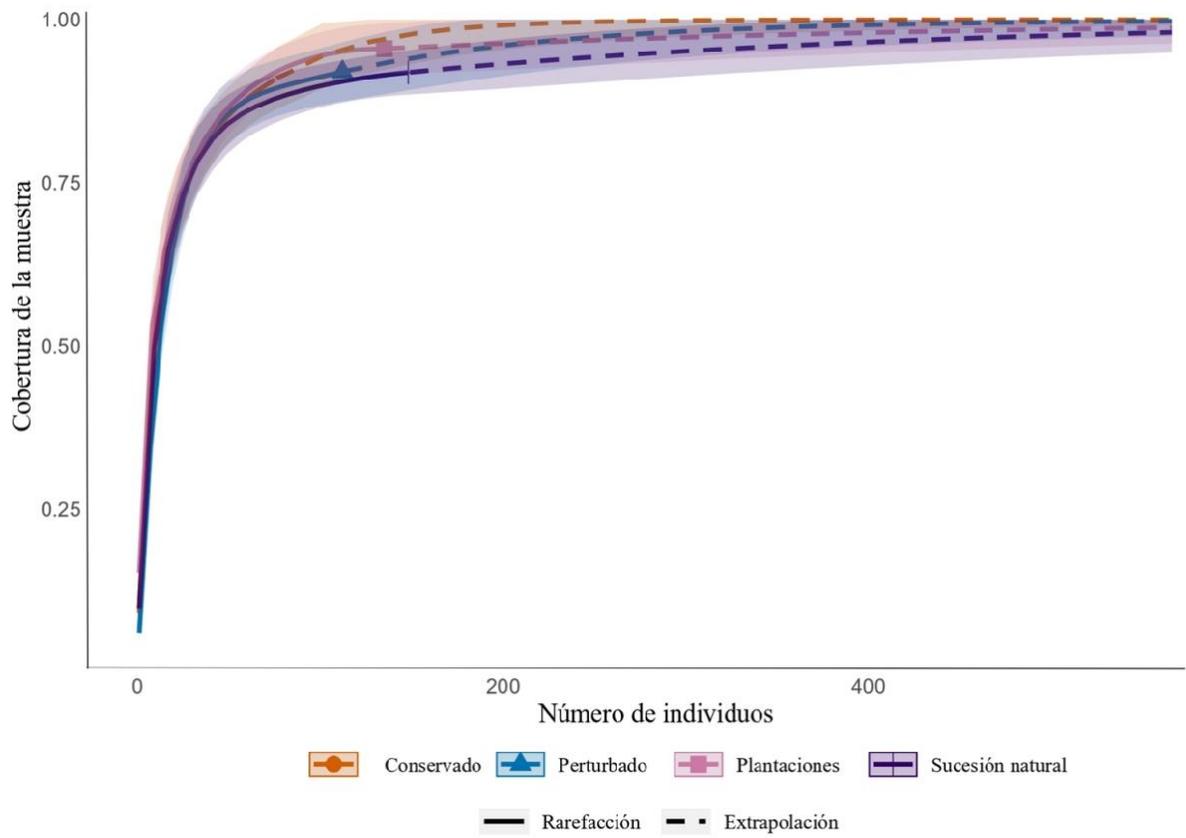
**Apéndice 1.** Valores de tamaño de la muestra (n), riqueza observada (R.obs) y cobertura de la muestra (CM) de las especies de plantas con flores registradas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauichichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

Hábitat	n	R.obs	CM
Perturbado	112	25	0.9203
Sucesión natural	148	28	0.9192
Plantaciones	135	22	0.9557
Conservado	75	20	0.9084

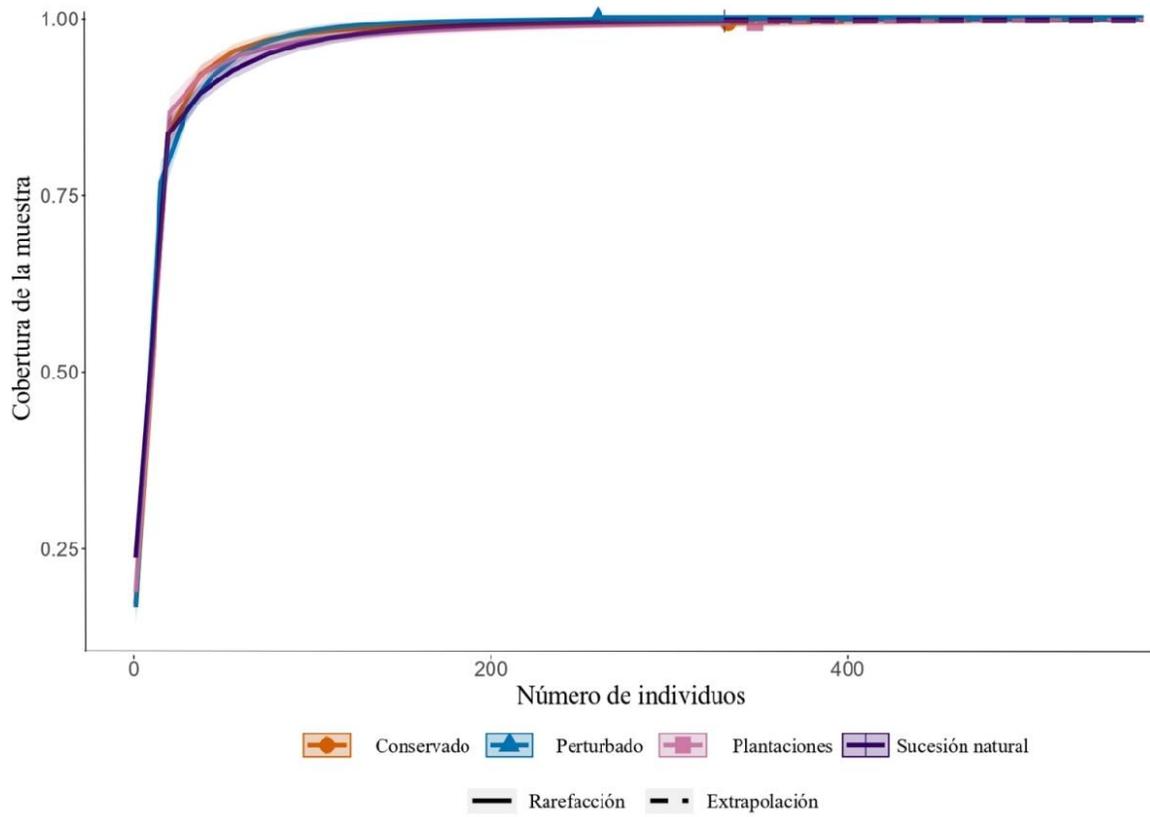
**Apéndice 2.** Valores de tamaño de la muestra (n), riqueza observada (R.obs) y cobertura de la muestra (CM) de los grupos funcionales de visitantes florales registrados en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

<b>Hábitat</b>	<b>n</b>	<b>R.obs</b>	<b>CM</b>
Perturbado	260	14	1.0000
Sucesión natural	331	15	0.9970
Plantaciones	348	15	0.9943
Conservado	33	14	0.9940

**Apéndice 3.** Completitud de muestreo teniendo en cuenta el número de individuos registrados de las especies de plantas con flores en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.



**Apéndice 4.** Completitud de muestreo teniendo en cuenta el número de individuos registrados de los visitantes florales en cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.



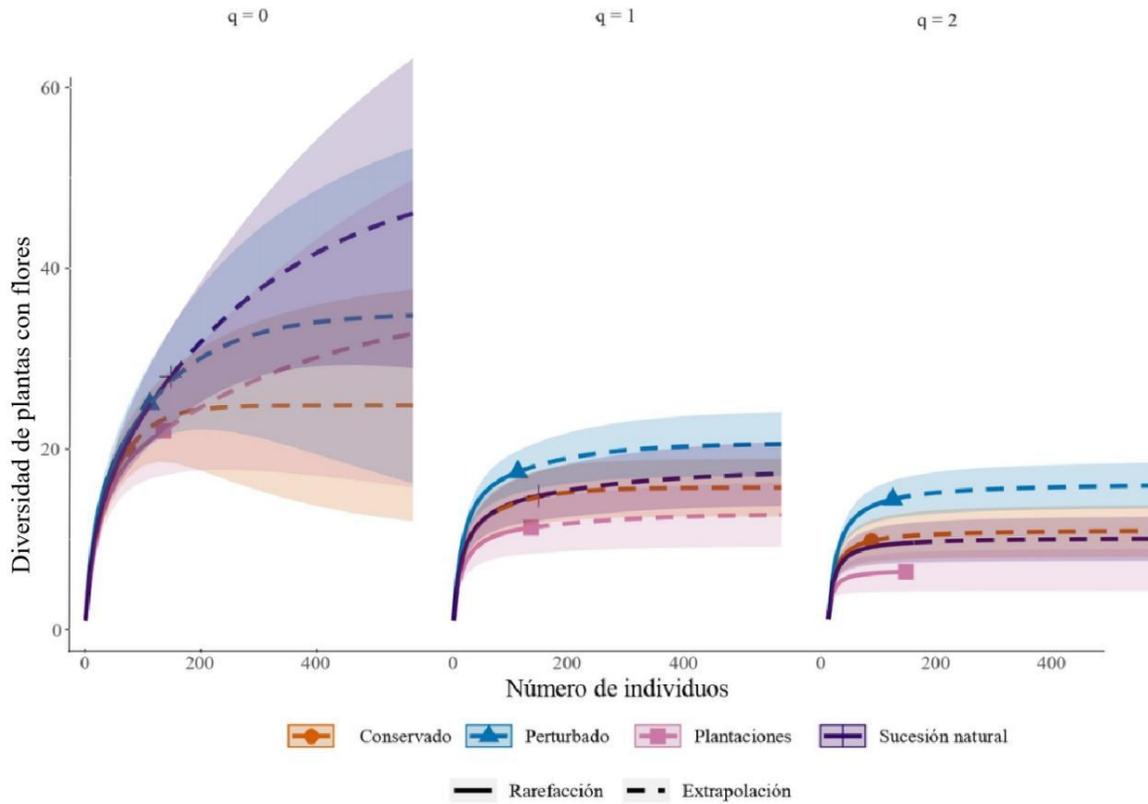
**Apéndice 5.** Análisis asintótico de la diversidad verdadera de las especies de plantas con flores registradas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de diversidad observada (Div. obs), diversidad estimada (Div. est), error estándar (Error est.) e intervalos de confianza mínimo (ICMín) y máximo (ICMáx) para los órdenes de diversidad (<sup>0</sup>D = Riqueza de especies, <sup>1</sup>D = Exponencial de Shannon, <sup>2</sup>D = Inverso de Simpson).

Hábitat	Órd. de Diversidad	Div. obs	Div. est	Error est	ICMín	ICMáx
Perturbado	Riqueza de especies	25.000	35.034	14.428	25.000	63.313
Perturbado	Exponencial de Shannon	17.449	20.635	1.985	16.743	24.528
Perturbado	Inverso de Simpson	14.287	16.229	1.536	13.217	19.242
Sucesión natural	Riqueza de especies	28.000	51.837	21.528	28.000	94.032
Sucesión natural	Exponencial de Shannon	14.796	17.610	1.886	13.913	21.308
Sucesión natural	Inverso de Simpson	9.506	10.090	1.184	7.769	12.412
Plantaciones	Riqueza de especies	22.000	36.888	11.806	22.000	60.028
Plantaciones	Exponencial de Shannon	11.288	12.853	1.616	9.685	16.021
Plantaciones	Inverso de Simpson	6.265	6.521	1.054	4.454	8.587
Conservado	Riqueza de especies	20.000	24.834	9.036	20.000	42.545
Conservado	Exponencial de Shannon	13.119	15.726	1.874	12.052	19.399
Conservado	Inverso de Simpson	9.681	10.968	1.745	7.546	14.390

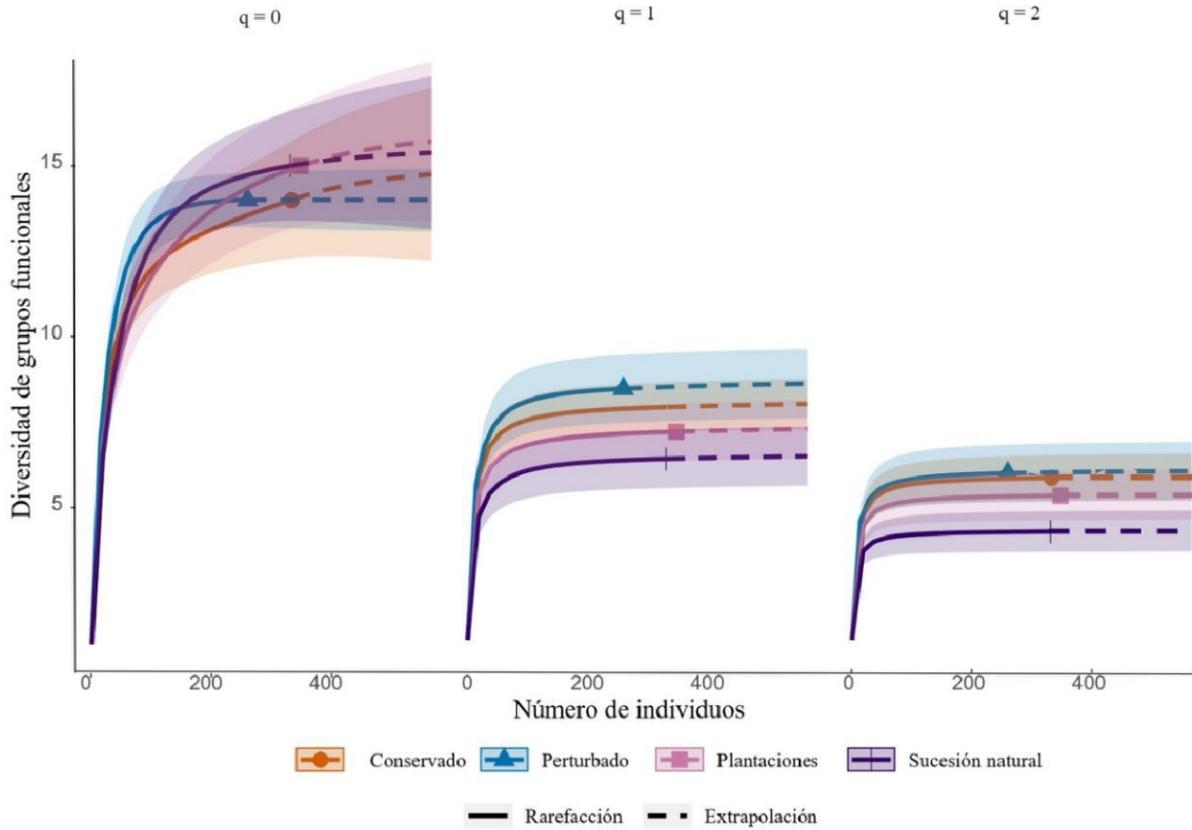
**Apéndice 6.** Análisis asintótico de la diversidad verdadera de los visitantes florales registrados en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de diversidad observada (Div. obs), diversidad estimada (Div. est), error estándar (Error est) e intervalos de confianza mínimo (ICMín) y máximo (ICMáx) para los órdenes de diversidad (<sup>0</sup>D = Riqueza de especies, <sup>1</sup>D = Exponencial de Shannon, <sup>2</sup>D = Inverso de Simpson).

Hábitat	Órd. de Diversidad	Div. obs	Div. est	Error est	ICMín	ICMáx
Perturbado	Riqueza de especies	14.000	14.000	0.509	14.000	14.999
Perturbado	Exponencial de Shannon	8.347	8.564	0.559	7.467	9.660
Perturbado	Inverso de Simpson	5.874	5.986	0.529	4.948	7.025
Sucesión natural	Riqueza de especies	15.000	15.498	1.599	15.000	18.632
Sucesión natural	Exponencial de Shannon	6.297	6.443	0.367	5.723	7.164
Sucesión natural	Inverso de Simpson	4.170	4.210	0.260	3.700	4.720
Plantaciones	Riqueza de especies	15.000	15.997	2.430	15.000	20.761
Plantaciones	Exponencial de Shannon	7.090	7.256	0.363	6.544	7.967
Plantaciones	Inverso de Simpson	5.220	5.284	0.304	4.687	5.882
Conservado	Riqueza de especies	14.000	14.996	0.996	14.000	16.892
Conservado	Exponencial de Shannon	7.814	7.991	0.396	7.215	8.768
Conservado	Inverso de Simpson	5.741	5.824	0.380	5.078	6.570

**Apéndice 7.** Curvas de comparación de los órdenes de diversidad ( ${}^0D$  = Riqueza de especies,  ${}^1D$  = Exponencial de Shannon,  ${}^2D$  = Inverso de Simpson) por tamaño de muestra de las especies de plantas con flores para cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.



**Apéndice 8.** Curvas de comparación de los órdenes de diversidad ( ${}^0D$  = Riqueza de especies,  ${}^1D$  = Exponencial de Shannon,  ${}^2D$  = Inverso de Simpson) por tamaño de muestra de los grupos funcionales de visitantes florales para cuatro hábitats (perturbado, sucesión natural, plantaciones y conservado) de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.



**Apéndice 9.** Cuarenta y ocho especies de plantas con flores de 19 familias presentes durante nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) en catorce parcelas de 50 × 50 m en El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. \*La nomenclatura taxonómica actual fue confirmada en TROPICOS, 2024.

<b>Familia y especies*</b>	<b>Forma de vida</b>
<b>Acanthaceae</b>	
<i>Carlowrightia</i> sp. A. Gray	Hierba
<i>Tetramerium nervosum</i> Nees	Hierba
<b>Amaranthaceae</b>	
<i>Iresine latifolia</i> (M. Martens & Galeotti) Benth. & Hook. f.	Hierba
<b>Apocynaceae</b>	
<i>Cascabela thevetioides</i> (Kunth) Lippold	Árbol
<i>Plumeria acutifolia</i> Poir.	Árbol
<b>Asteraceae</b>	
<i>Bidens</i> sp. L.	Hierba
<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.	Hierba
<i>Lagascea mollis</i> Cav.	Hierba
<i>Melampodium paniculatum</i> Gardner	Hierba
<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.	Hierba
<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	Hierba
<i>Tragoceros americanum</i> (Mill.) S.F. Blake	Hierba
<i>Verbesina crocata</i> (Cav.) Less.	Hierba
<b>Bignoniaceae</b>	
<i>Crescentia alata</i> Kunth	Árbol
<b>Burseraceae</b>	
<i>Bursera copallifera</i> (DC.) Bullock	Árbol
<i>Bursera grandifolia</i> (Schltdl.) Engl.	Árbol
<b>Cannabaceae</b>	
<i>Celtis caudata</i> Planch.	Árbol
<b>Convolvulaceae</b>	
<i>Ipomoea bracteata</i> Cav.	Hierba
<i>Ipomoea konzattii</i> Greenm.	Hierba
<i>Ipomoea pauciflora</i> M. Martens & Galeotti	Árbol
<i>Quamoclit hederifolia</i> (L.) G. Don	Hierba
<b>Euphorbiaceae</b>	
<i>Croton ciliatoglandulifer</i> Ortega	Hierba
<i>Euphorbia schlechtendalii</i> Boiss.	Arbusto
<b>Fabaceae</b>	
<i>Calliandra eriophylla</i> Benth.	Arbusto
<i>Conzattia multiflora</i> (B.L. Rob.) Standl.	Árbol
<i>Dalea humilis</i> G. Don	Hierba

<i>Haematoxylum brasiletto</i> H. Karst	Arbusto
<i>Leucaena esculenta</i> (DC.) Benth.	Árbol
<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.	Árbol
<i>Mariosousa coulteri</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Árbol
<i>Mimosa polyantha</i> Benth.	Arbusto
<i>Senna uniflora</i> (Mill.) H.S. Irwin & Barneby	Hierba
<i>Vachellia campechiana</i> (Mill.) Seigler & Ebinger	Árbol
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Árbol
<b>Lamiaceae</b>	
<i>Salvia misella</i> Kunth	Hierba
<i>Salvia</i> sp. L.	Hierba
<i>Vitex mollis</i> Kunth	Árbol
<b>Malvaceae</b>	
<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten y Baker f.	Árbol
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand	Árbol
<b>Oxalidaceae</b>	
<i>Oxalis</i> sp. L.	Hierba
<b>Plumbaginaceae</b>	
<i>Plumbago</i> sp. L.	Hierba
<i>Plumbago zeylanica</i> L.	Hierba
<b>Polygonaceae</b>	
<i>Ruprechtia fusca</i> Fernald	Árbol
<b>Rhamnaceae</b>	
<i>Sp</i>	Hierba
<b>Rubiaceae</b>	
<i>Randia echinocarpa</i> DC.	Arbusto
<b>Scrophulariaceae</b>	
<i>Russelia coccinea</i> (L.) Wettst.	Hierba
<b>Verbenaceae</b>	
<i>Lantana</i> sp. L.	Hierba
<i>Lantana</i> sp. L. (2)	Hierba

---

**Apéndice 10.** Fenología floral de 48 especies durante nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Dentro de las celdas se encuentra la densidad floral por especie para cada mes. Los nombres científicos se ordenaron alfabéticamente, por familias.

Familia/Especie	Densidad floral/m <sup>3</sup>								
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago	Nov	Dic	Ene
<i>Carlowrightia</i> sp.	38	62						143	33
<i>Tetramerium nervosum</i>							7		
<i>Iresine latifolia</i>	445	157					78	89	125
<i>Cascabela thevetioides</i>		71			268	22	11		
<i>Plumeria acutifolia</i>				22					
<i>Bidens</i> sp.						1871			
<i>Chromolaena odorata</i>							338		
<i>Lagascea mollis</i>						119	45		
<i>Melampodium paniculatum</i>						378			
<i>Sanvitalia procumbens</i>						46	136		
<i>Tagetes lunulata</i>							437		
<i>Tragoceros americanum</i>						9			
<i>Verbesina crocata</i>							12	7	
<i>Crescentia alata</i>	32				19				
<i>Bursera copallifera</i>					84				
<i>Bursera grandifolia</i>							9		
<i>Celtis caudata</i>		10							
<i>Ipomoea bracteata</i>	24								
<i>Ipomoea conzattii</i>	17								52
<i>Ipomoea pauciflora</i>							313	524	
<i>Quamoclit hederifolia</i>							1		

<i>Croton ciliatoglandulifer</i>					6				
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	425	842							170
<i>Calliandra eriophylla</i>					229				
<i>Conzattia multiflora</i>				425					
<i>Dalea humilis</i>							39		
<i>Haematoxylum brasiletto</i>	256	1995							
<i>Leucaena esculenta</i> (DC.)							20		
<i>Lysiloma acapulcense</i>			53						
<i>Mariosousa coulteri</i> (Benth.)		315	85						
<i>Mimosa polyantha</i>					606				
<i>Senna uniflora</i>					143				
<i>Vachellia campechiana</i> (Mill.)				42	597				
<i>Vachellia farnesiana</i>		376							25
<i>Salvia misella</i>							45		
<i>Salvia</i> sp.							172		
<i>Vitex mollis</i>		111	121	9					
<i>Ceiba aesculifolia</i>				3					
<i>Pseudobombax ellipticum</i>									3
<i>Oxalis</i> sp.					23				
<i>Plumbago</i> sp.		600							
<i>Plumbago zeylanica</i>							71		45
<i>Ruprechtia fusca</i>								255	
<i>Rhamnaceae</i> Sp.							41		
<i>Randia echinocarpa</i>	16				130				
<i>Russelia coccinea</i>	327				203				
<i>Lantana</i> sp.	1				479				
<i>Lantana</i> sp. L.							12		
<b>Número de especies</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

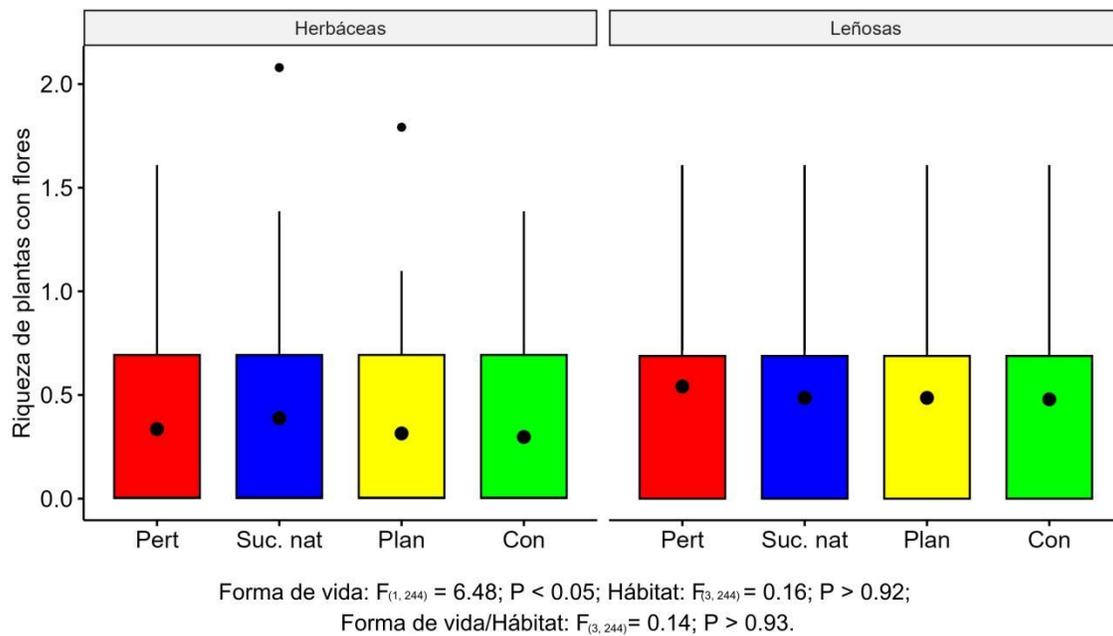
**Apéndice 11.** Abundancia de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

Orden/Grupo funcional de visitante floral	Abundancia								
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago	Nov	Dic	Ene
<b>Hymenoptera</b>									
Abeja	71	140	23	2	73	42	23	19	10
Abejorro		11	9	3			5	3	1
Avispa chica	39	116	23	8	18	13	4	32	61
Avispa mediana	8	7	6	1	7	4		1	
Avispa grande		20	1	1	6	3		24	
Hormiga	12	26			1				
<b>Hemiptera</b>									
Chinche	1	2	1		5	4	7	1	
<b>Lepidoptera</b>									
Mariposa chica	5	14			4	6	50	9	19
Mariposa mediana	9	8	1		16	18	49	6	
Mariposa grande	2	1	6	1	2	12	10	6	
<b>Diptera</b>									
Mosca chica		4			4		4	5	1
Mosca mediana	1	4			1	8	3	1	3
Mosca grande						1	2		
Sírfidos	1	1			5	1	20		1
Otros	1	5		1	4	3	6	1	1
<b>Núm. de grupos funcionales</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>8</b>

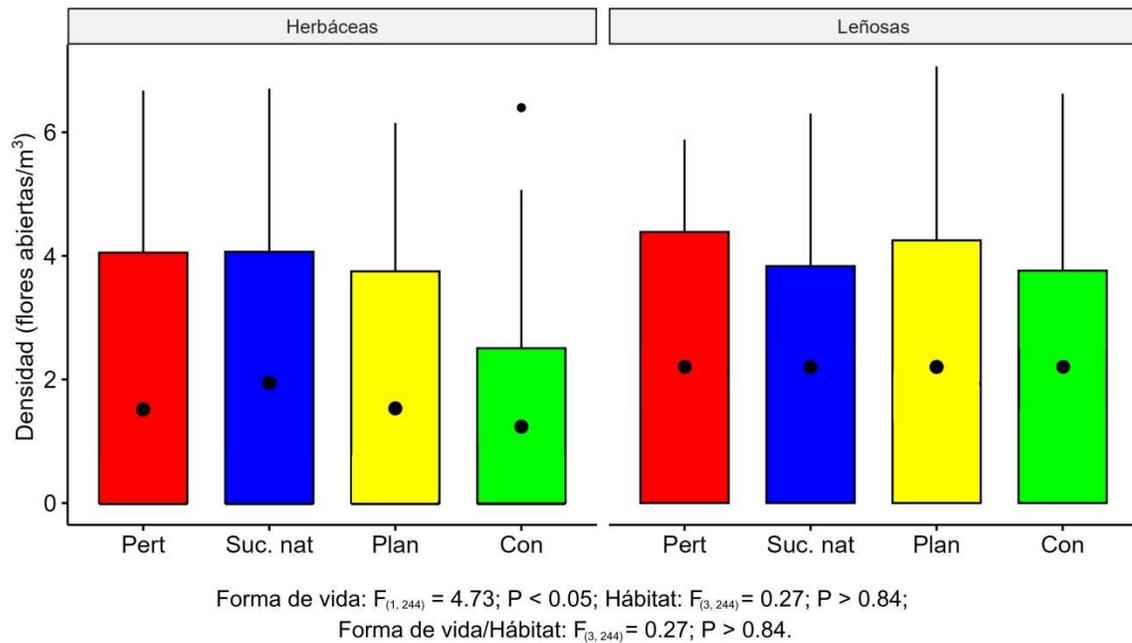
**Apéndice 12.** Estadísticos complementarios del análisis de varianza de dos vías del efecto de la forma de vida y el hábitat sobre la riqueza de especies de plantas con flores y la densidad floral (flores abiertas/m<sup>3</sup>) en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

<b>Forma de vida</b>	<b>Hábitat</b>	<b>Variable</b>	<b>Muestra (n)</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desviación estándar</b>
Herbácea	Conservado	Riqueza	27	0.297	0	0.462
Herbácea	Plantaciones	Riqueza	36	0.315	0	0.466
Herbácea	Sucesión natural	Riqueza	36	0.388	0	0.507
Herbácea	Perturbado	Riqueza	27	0.336	0	0.554
Leñosa	Conservado	Riqueza	27	0.479	0.693	0.481
Leñosa	Plantaciones	Riqueza	36	0.486	0.693	0.514
Leñosa	Sucesión natural	Riqueza	36	0.486	0.693	0.487
Leñosa	Perturbado	Riqueza	27	0.541	0.693	0.517
Herbácea	Conservado	Densidad	27	1.24	0	2.06
Herbácea	Plantaciones	Densidad	36	1.53	0	2.17
Herbácea	Sucesión natural	Densidad	36	1.94	0	2.36
Herbácea	Perturbado	Densidad	27	1.52	0	2.42
Leñosa	Conservado	Densidad	27	2.20	2.20	2.32
Leñosa	Plantaciones	Densidad	36	2.20	1.93	2.31
Leñosa	Sucesión natural	Densidad	36	2.20	2.44	2.17
Leñosa	Perturbado	Densidad	27	2.20	2.08	2.17

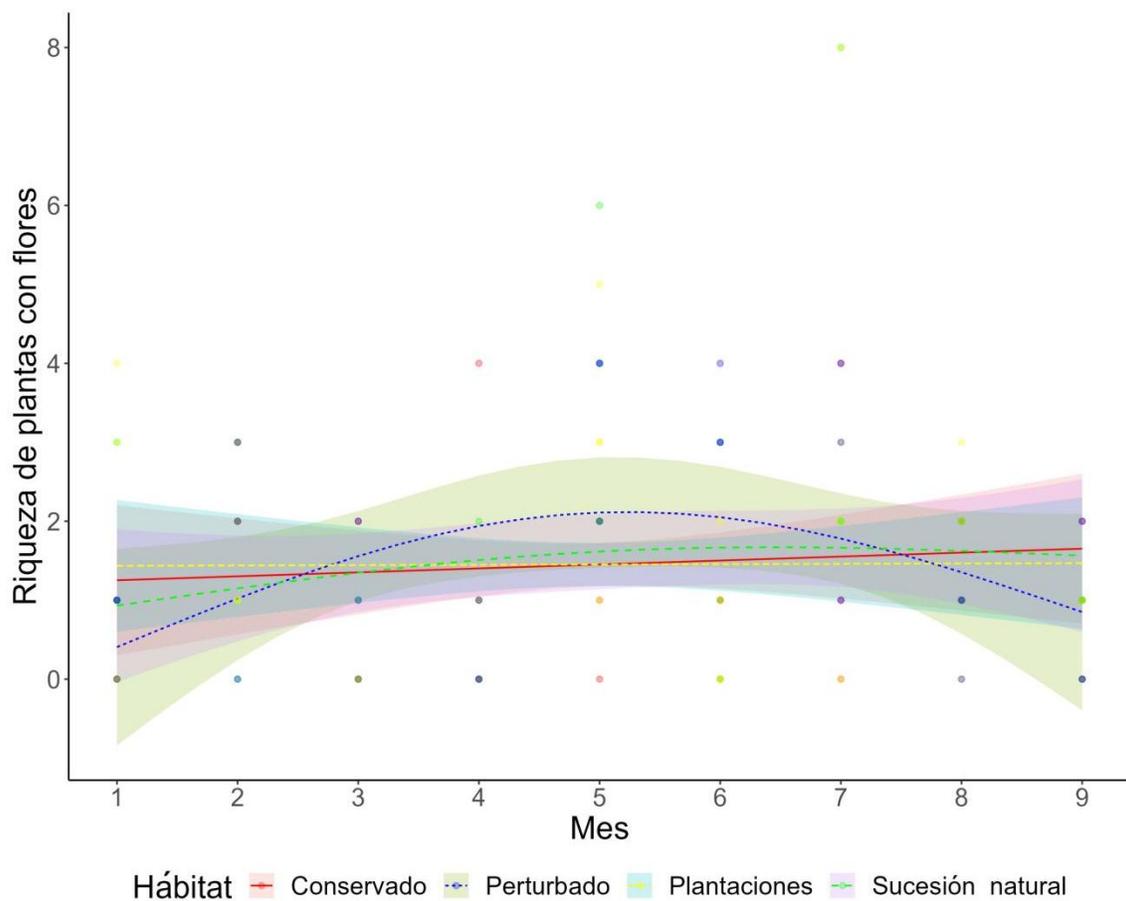
**Apéndice 13.** Efecto de la forma de vida y el hábitat sobre la riqueza de especies de plantas con flores en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Pert: Perturbado; Suc. nat: Sucesión natural; Plan: Plantaciones; Con: Conservado. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos, los puntos negros dentro de las cajas son las medias y los puntos negros fuera de las cajas son *outlier* u observaciones extremas en los datos.



**Apéndice 14.** Efecto de la forma de vida y el hábitat sobre la densidad floral (flores abiertas/m<sup>3</sup>) en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos, los puntos negros dentro de las cajas son las medias y los puntos negros fuera de las cajas son *outlier* u observaciones extremas en los datos. Pert: Perturbado; Suc. nat: Sucesión natural; Plan: Plantaciones; Con: Conservado.

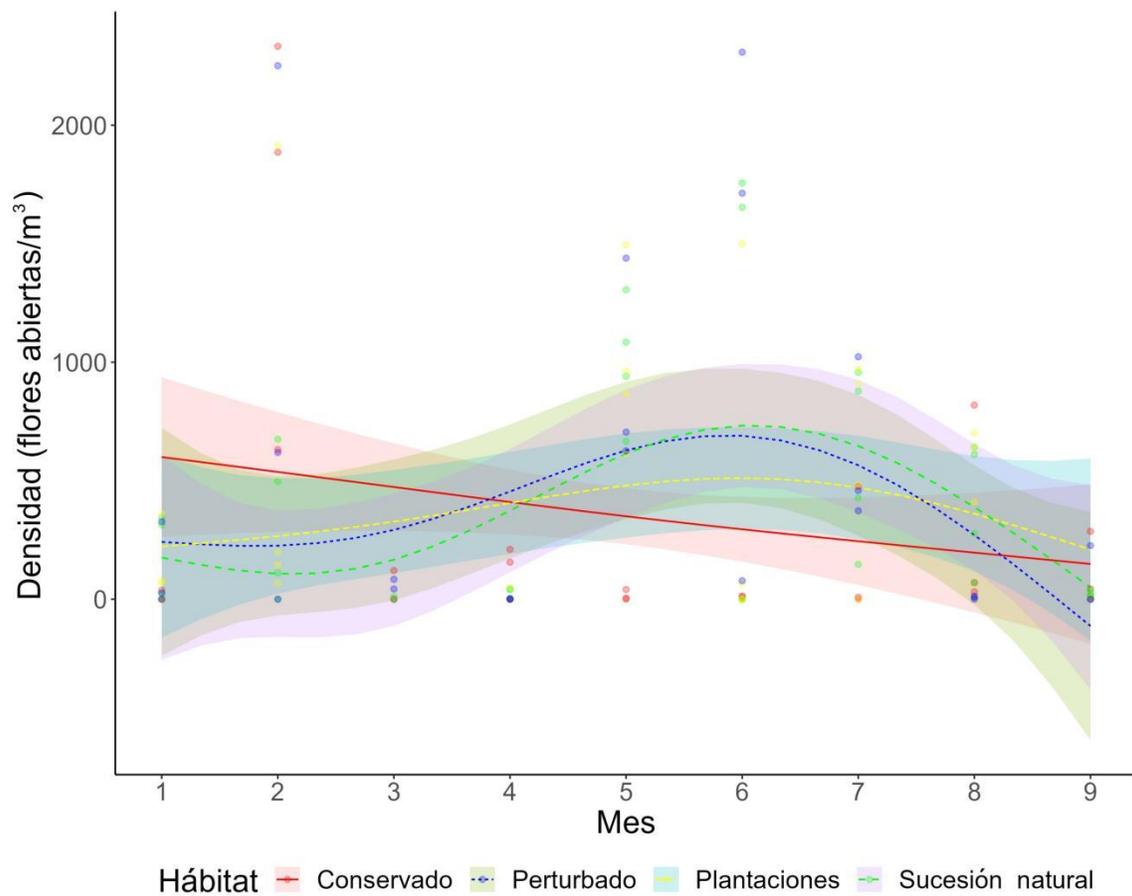


**Apéndice 15.** Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la riqueza de especies de plantas con flores en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas (*smooth* en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas.



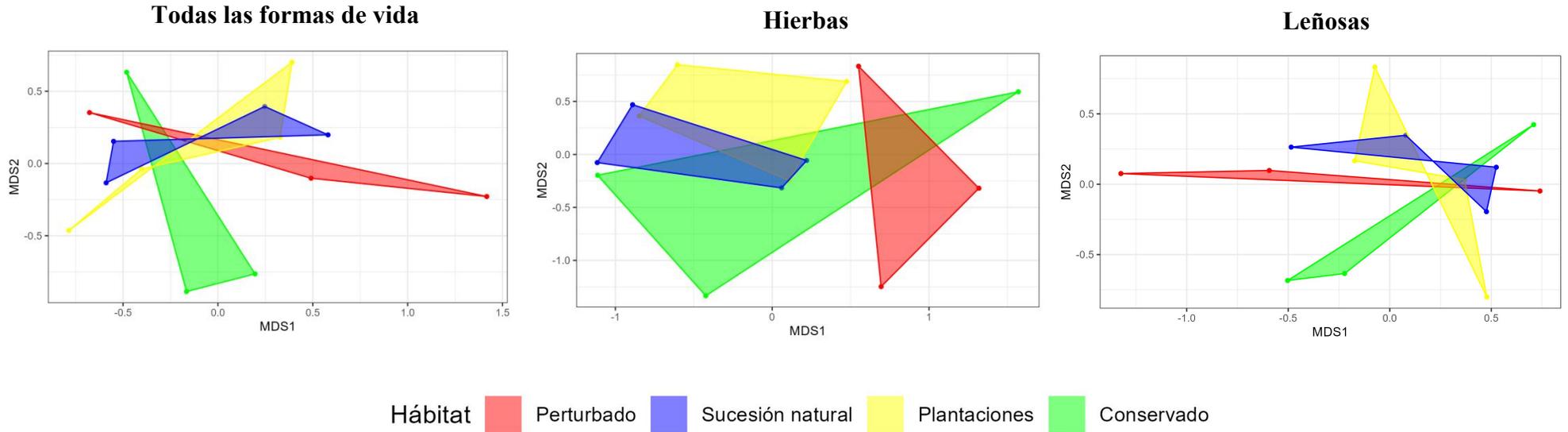
Mes/Hábitat perturbado:  $F = 1.96$ ,  $P = 0.13$ ; Mes/Hábitat sucesión natural:  $F = 0.90$ ,  $P = 0.53$ ;  
 Mes/Hábitat plantaciones:  $F = 0.002$ ,  $P = 0.97$ ; Mes/Hábitat conservado:  $F = 0.19$ ,  $P = 0.67$ .

**Apéndice 16.** Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la densidad floral en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauichichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas (*smooth* en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas.

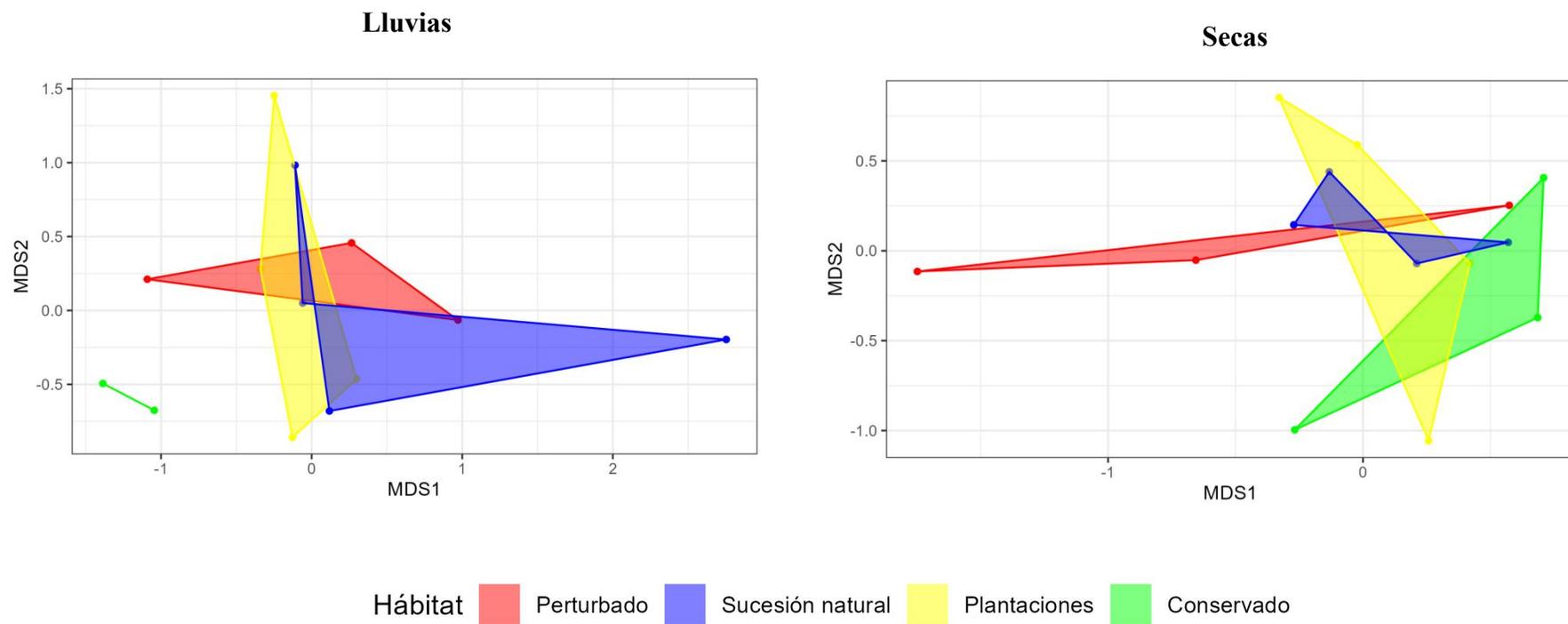


Mes/Hábitat perturbado:  $F = 2.03$ ,  $P = 0.10$ ; Mes/Hábitat sucesión natural:  $F = 2.39$ ,  $P = 0.51$ ;  
 Mes/Hábitat plantaciones:  $F = 0.09$ ,  $P = 0.50$ ; Mes/Hábitat conservado:  $F = 1.94$ ,  $P = 0.18$ .

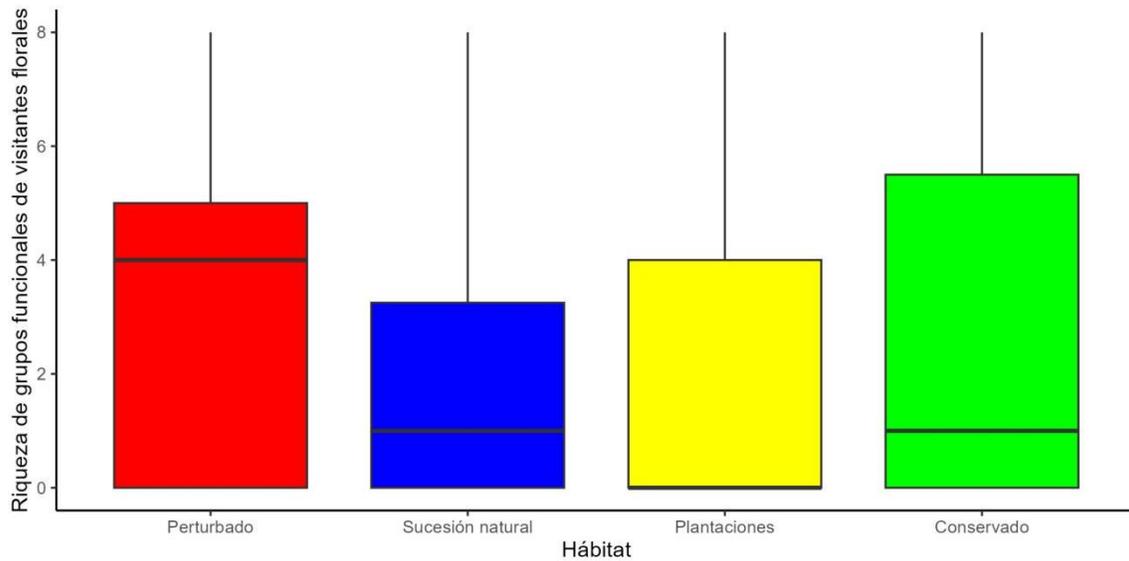
**Apéndice 17.** Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de plantas con flores de todas las formas de vida, hierbas y leñosas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Total-0.14; Hierbas-0.11; Leñosas-0.13.



**Apéndice 18.** Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de plantas con flores de todas las formas de vida en época de lluvias y de secas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Lluvias-0.08; Secas-0.12.

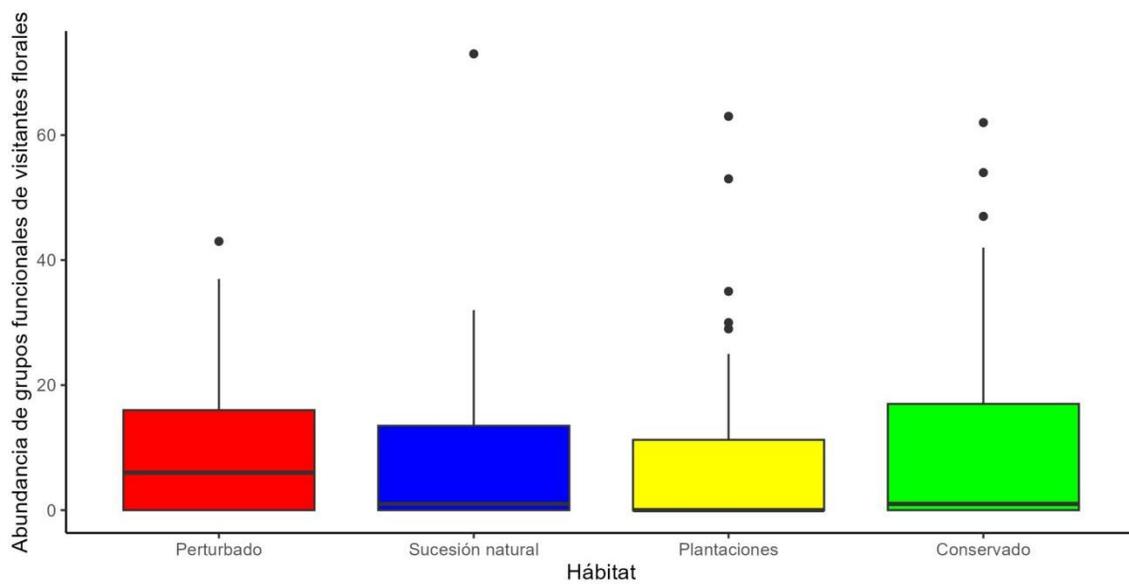


**Apéndice 19.** Riqueza de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas y las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos.



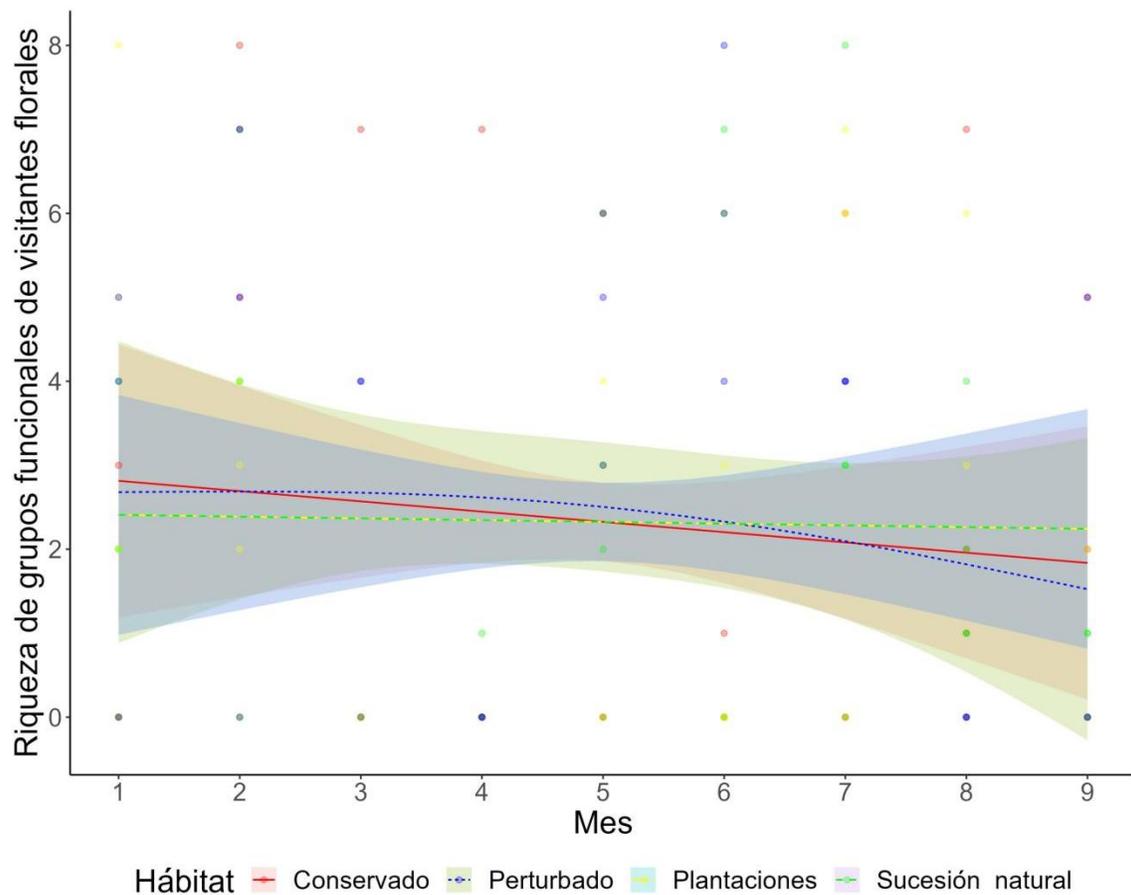
$$H_{(3, 126)} = 1.56, P > 0.66$$

**Apéndice 20.** Abundancia de grupos funcionales de visitantes florales durante nueve meses en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son outlier u observaciones extremas en los datos.



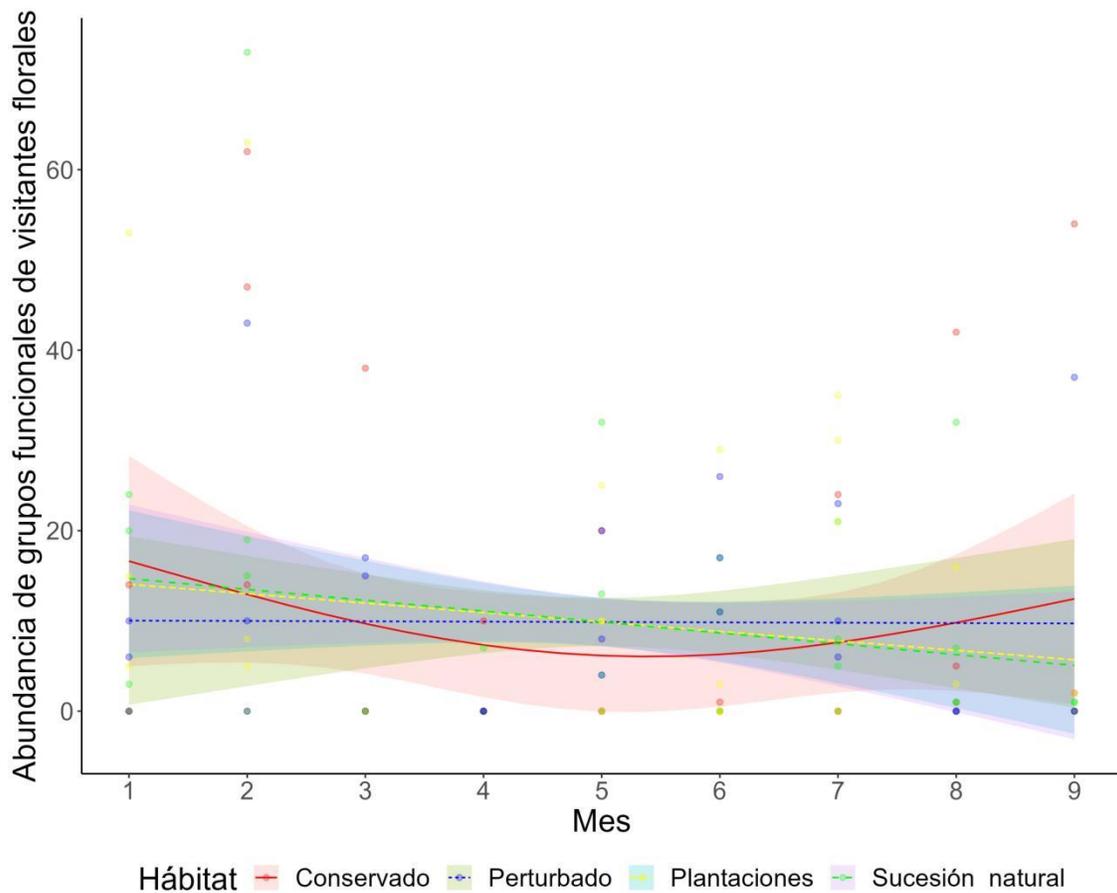
$$H_{(3, 126)} = 0.78, P > 0.85$$

**Apéndice 21.** Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la riqueza de grupos funcionales de visitantes florales en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas (*smooth* en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas.



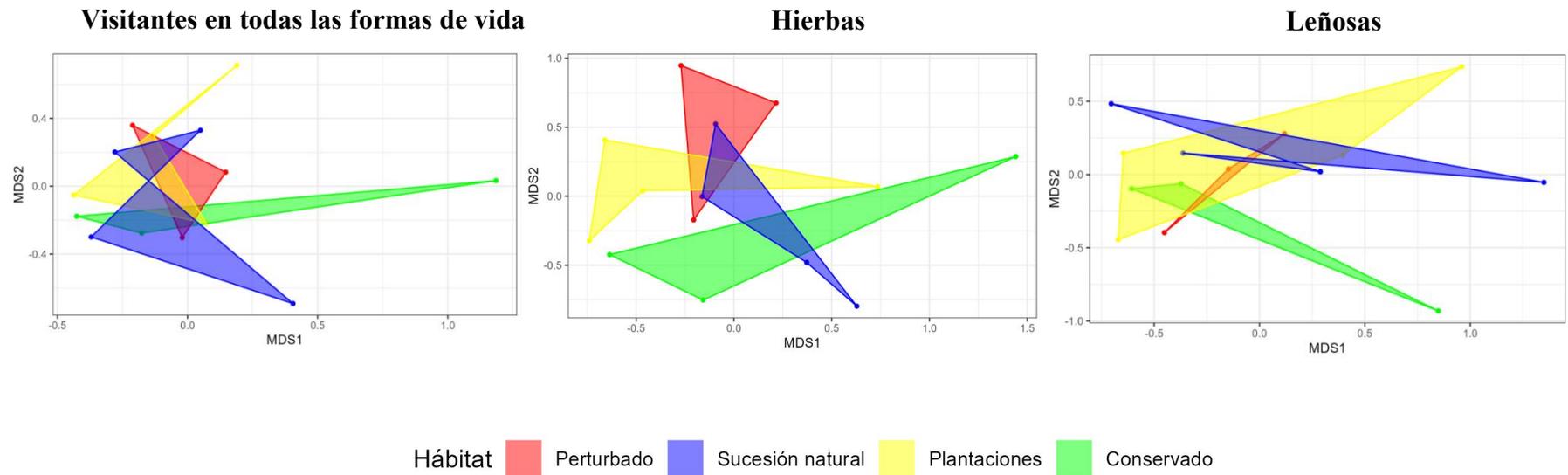
Mes/Hábitat perturbado:  $F = 0.26$ ,  $P = 0.60$ ; Mes/Hábitat sucesión natural:  $F = 0.02$ ,  $P = 0.90$ ;  
 Mes/Hábitat plantaciones:  $F = 0.02$ ,  $P = 0.90$ ; Mes/Hábitat conservado:  $F = 0.38$ ,  $P = 0.54$ .

**Apéndice 22.** Resultados del modelo aditivo generalizado (GAM) para el efecto del tiempo sobre la abundancia de grupos funcionales de visitantes florales en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Año 2022: 1- febrero, 2- marzo, 3- abril, 4- mayo, 5- junio, 6- agosto, 7- noviembre, 8- diciembre; Año 2023: 9- enero. Las líneas discontinuas representan las curvas suavizadas (*smooth* en inglés) de los meses. Las áreas coloreadas representan los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95 % para ajustar funciones aditivas.

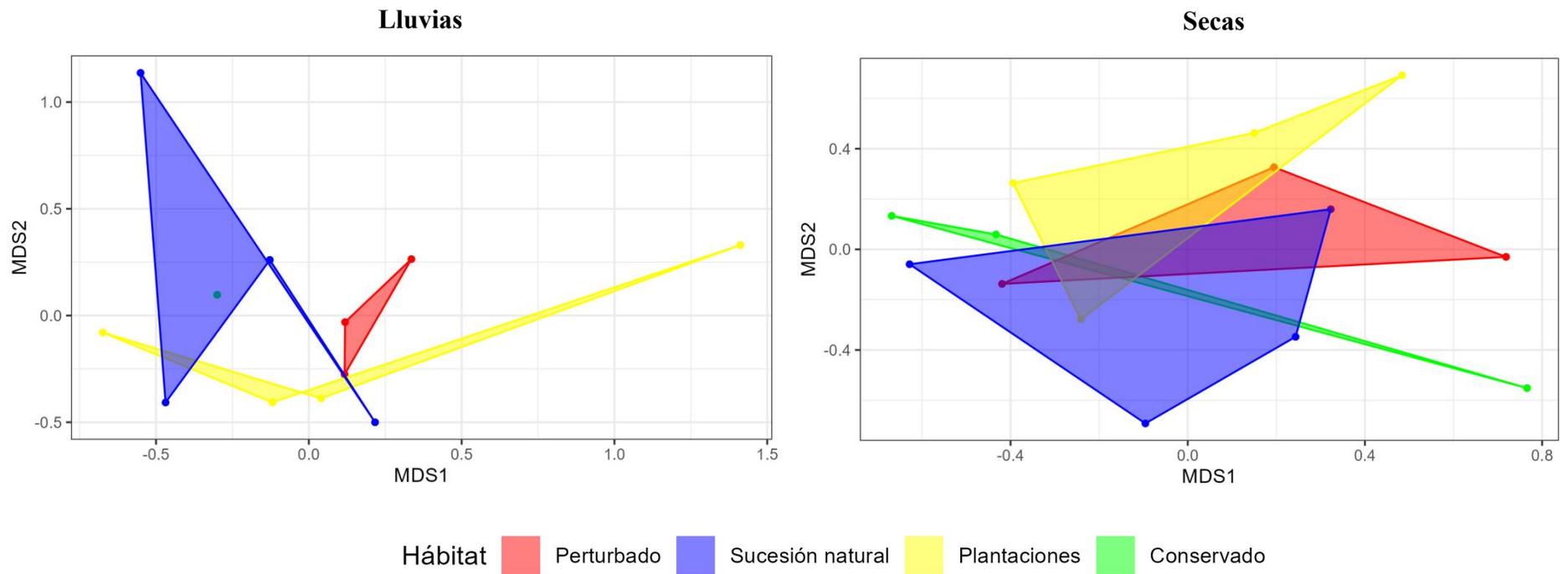


Mes/Hábitat perturbado:  $F = 0.001$ ,  $P = 0.97$ ; Mes/Hábitat sucesión natural:  $F = 1.49$ ,  $P = 0.23$ ;  
 Mes/Hábitat plantaciones:  $F = 1.12$ ,  $P = 0.29$ ; Mes/Hábitat conservado:  $F = 0.74$ ,  $P = 0.40$ .

**Apéndice 23.** Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de grupos funcionales de visitantes florales en todas las formas de vida, en hierbas y en leñosas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Total-0.11; Hierbas-0.12; Leñosas-0.09.



**Apéndice 24.** Análisis de escalado multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de grupos funcionales de visitantes florales en época de lluvias y de secas en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Valores de estrés: Lluvias-0.11; Secas-0.14.



## CAPÍTULO III

### REDES DE INTERACCIÓN ENTRE LAS PLANTAS CON FLORES Y LOS GRUPOS FUNCIONALES DE VISITANTES FLORALES

#### INTRODUCCIÓN

Las interacciones mutualistas constituyen la base para el funcionamiento de muchos ecosistemas. El estudio de las interacciones mutualistas planta-animal es importante no sólo para el entendimiento básico de los sistemas ecológicos, sino también para su gestión y conservación (Rico-Gray & Oliveira, 2007). Estas interacciones han sido consideradas recientemente como objeto de conservación (Harvey et al., 2017; Santamaría & Méndez, 2021). La pérdida o ganancia de interacciones es un indicador más preciso de la degradación y recuperación de los ecosistemas que la composición específica y la abundancia de especies (Montoya, 2019). Las especies existen dentro de una red de interacciones con otras especies, y estas interacciones en sí mismas también necesitan conservación (Tylianakis et al., 2010). Analizar las relaciones entre las especies interactuantes y sus patrones de interacción en el tiempo y el espacio es fundamental para conservar las interacciones mutualistas.

Las redes de interacción ayudan a predecir la dinámica de la comunidad en respuesta a las alteraciones del ecosistema. Estas redes son elemento clave para la restauración de ecosistemas multifuncionales (Montoya et al., 2019), y su análisis es útil con fines de monitoreo (Tylianakis et al., 2010); por ejemplo, para verificar el funcionamiento de un ecosistema después de la restauración de un hábitat degradado

(Kaiser-Bunbury & Blüthgen, 2015). Si queremos comprender mejor la funcionalidad de las redes de interacción, es necesario indagar sobre la dinámica de las mismas en relación a los cambios ocasionados por disturbios (Byers, 2017). A pesar del complejo grado de organización de estas redes, es muy fácil que sus dinámicas naturales sean alteradas (Albrecht et al., 2014; Tylianakis & Morris, 2017) por perturbaciones. En el caso de que las especies afectadas por la perturbación jueguen un papel principal en las redes ecológicas, su pérdida puede causar efectos en cascada, alterando el funcionamiento de las comunidades (Dáttilo & Rico-Gray, 2018). Por otra parte, si el papel ecológico de las especies que se pierden puede ser desempeñado por otras especies los efectos en la comunidad se minimizan por presentar redundancia funcional (Fonseca & Ganade 2001). La redundancia funcional se basa en la idea de que varias especies pueden desempeñar papeles similares en las comunidades y ecosistemas; por tanto, la ausencia de alguna de las especies redundantes tendría un impacto bajo en los procesos ecosistémicos (Fonseca & Ganade 2001). El estudio de las redes ecológicas es una herramienta útil para la restauración de las interacciones claves en los ecosistemas.

### **Objetivo general**

Evaluar las redes de interacción entre las plantas con flores y los grupos funcionales de visitantes florales durante un año en cuatro hábitats.

### **Objetivo específico**

1- Evaluar los parámetros de las redes de interacción entre las plantas con flores y los grupos funcionales de visitantes florales durante un año en hábitats perturbados, plantaciones, sucesión natural y conservados.

## Hipótesis específica

- 1- Los parámetros de las redes difieren entre hábitats y cambian con el tiempo.

## MÉTODOS

### Análisis de datos

Las redes cuantitativas se construyeron para analizar los cambios en las interacciones de las especies entre hábitats y en el tiempo usando datos de abundancia. Con estos datos se compilaron 35 redes para estudiar sus patrones estructurales; las redes fueron 4: una general por hábitat; una red por hábitat por nueve meses (febrero, marzo, abril, mayo, junio, agosto, noviembre y diciembre de 2022, enero de 2023 ) cuando se registró interacción de algún grupo funcional con alguna especie de planta con flores: *hábitat conservado*: 9, *hábitat de plantaciones*: 7, *hábitat de sucesión natural*: 8, *hábitat perturbado*: 7). Cada red de interacción consta de una matriz adyacente ponderada (cuantitativa) que indica la abundancia de visitas de cada grupo funcional a cada especie de planta,  $i$  = grupos funcionales de visitantes florales y  $j$  = especies de plantas con flores. Para estimar los parámetros de las redes cuantitativas y contrastarlos en el tiempo y entre los diferentes hábitats se usó el paquete “bipartite” (V. 2.18) del programa R (V. 4.3.0; R Core Team, 2022).

Los parámetros que se obtuvieron fueron:

- 1- Modularidad (M): este parámetro cuantifica la tendencia de una red a organizarse en distintos grupos.

- 2- Anidamiento (N): este índice indica si las especies especialistas realmente interactúan con un subconjunto de las especies mismas que interactúan con aquellas que muestran

interacciones más generalizadas. Los valores de este parámetro oscilan entre 0 (perfectamente aleatorio) y 1 (anidamiento perfecto).

3- Conectancia (C): mide la fracción de interacciones que realmente ocurren, de todas las posibles, si todas las especies de ambos niveles tróficos o particiones interactuaran (Jordano, 1987).

4- Diversidad de interacciones de Shannon (H'): se relaciona con la diversidad de interacciones o enlaces dentro de la red en relación con el número total de individuos. Para calcular esto, solo se incluyen las interacciones  $>0$ .

5- Homogeneidad de la interacción (IE): es un índice basado en enlaces ponderados de las redes cuantitativas. Estima la heterogeneidad de vínculos entre los dos grupos que interactúan dentro de la red bipartita (Dormann et al., 2009). Su valor aumenta a medida que los vínculos de interacción se distribuyen de manera más uniforme entre especies/individuos en ambas partes de la red. Un IE más alto indica una mayor separación de nicho (Emer & Memmott, 2023).

6- Índice de especialización de la red (H2') o selectividad: es una medida de especialización a nivel de red, basada en la desviación del número de interacciones realizadas por una especie del número total de interacciones esperado de cada especie (Blüthgen et al., 2006). Cuanto mayor sea la selectividad de especies por pares, mayor será su contribución a la especialización general de la red (Emer & Memmott, 2023). Este índice brinda información sobre si existe o no una baja o alta separación de nicho en la red y puede usarse para comparar redes en el sentido de cuál tiene más interacciones entre especies generalistas o especialistas (Blüthgen et al., 2006); indica que las especies especialistas interactúan con otras especies especialistas (Soares et al., 2017).

Posteriormente se utilizaron modelos nulos para determinar si la estructura de la red observada es significativamente diferente de una estructura de red aleatoria. Las nuevas redes aleatorias ( $N = 500$ ) se generaron en función de las redes observadas originales para eliminar cualquier sesgo posible. Usamos tres tipos de modelos nulos diferentes: 1- Modelo “r2dtable”: cambia los valores de las celdas mientras mantiene constantes las sumas de filas y columnas, 2- Modelo “vaznull”: cambia los valores de las celdas mientras mantiene constante la conectancia y 3- Modelo “swap.web” cambia los valores de las celdas mientras mantiene baja conectancia y sumas de filas y columnas constantes. Luego se probaron estas redes y se calcularon los valores p. Los modelos nulos mostraron que las redes eran en gran medida no aleatorias.

Las diferencias en los parámetros a nivel de red entre los hábitats se probaron con análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) pues los datos no presentaron normalidad. Para conocer entre qué grupos existían diferencias estadísticas significativas se realizaron comparaciones post-hoc utilizando la prueba Mann Whitney-Wilcoxon. Para identificar una posible relación entre los parámetros y los meses de estudio se realizaron regresiones lineales simples teniendo como variable independiente a los meses de estudio y como variable dependiente cada parámetro de la red.

## **RESULTADOS**

### **Redes de interacción**

Las abejas y las avispas chicas fueron los grupos funcionales de visitantes florales con la mayor cantidad de interacciones para todos los hábitats (Fig. 1). Estas interacciones variaron en cuanto a la identidad de la especie de planta más visitada en cada hábitat y a

la intensidad de las interacciones. La sucesión natural presentó el valor más alto de número de interacciones (Fig. 1). En el hábitat conservado, sucesión natural y perturbado *Euphorbia schlechtendalii* Boiss. fue la especie más visitada, en cambio en las plantaciones fue *Haematoxylum brasiletto* (Fig. 1). Las redes por hábitat en el tiempo cambiaron en cantidad e intensidad de interacciones y especies de plantas y grupos funcionales de visitantes principales. En el hábitat perturbado se registraron la mayor cantidad de interacciones en agosto y la menor en enero (Fig. 2). Este hábitat no presentó interacciones en mayo y diciembre y no se observaron interacciones exclusivas en ningún mes (Fig. 2). La sucesión natural tuvo el pico de interacciones en noviembre y mayo fue el mes de menor actividad, siendo exclusivas las interacciones en este último mes entre *Vachellia campechiana* (Mill.) Seigler & Ebinger y las avispas chicas (Fig. 3). En abril no se registraron interacciones en este hábitat (Fig. 3). Las plantaciones no presentaron interacciones en abril y mayo; noviembre fue el de mayor cantidad de interacciones y enero el de menor (Fig. 4). En enero todas las interacciones ocurrieron con la especie *Pseudobombax ellipticum* (Kunth) Dugand, recibiendo visitas de dos grupos funcionales (Fig. 4). En el hábitat conservado marzo fue el de mayor cantidad de interacciones y agosto el de menor (Fig. 5). En este hábitat las abejas presentaron interacción en todos los meses excepto agosto donde las interacciones fueron exclusivas entre las mariposas medianas y la especie *Tragoceros americanum* (Mill.) S.F. Blake (Asteraceae) (Fig. 5).

### **Parámetros de las redes de interacción**

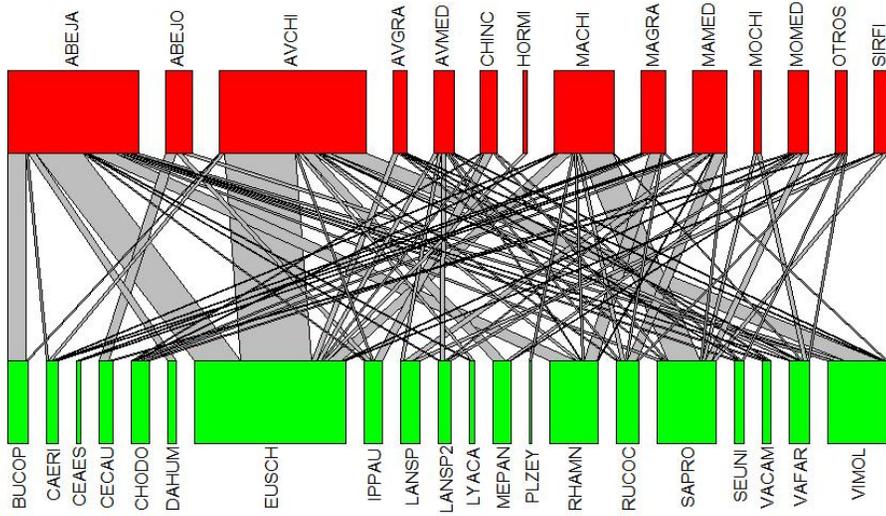
Todos los parámetros difirieron entre los hábitats (Fig. 6 y Apéndice 1). El hábitat perturbado fue el de mayor valor de mediana y mayor variabilidad en la modularidad

(Apéndice 2). Las plantaciones en cuanto a la modularidad, fueron diferentes de los tres hábitats restantes. El hábitat conservado presentó mayor mediana de anidamiento ponderado (Apéndice 2). Las diferencias entre los hábitats respecto a esta métrica fueron entre conservado con sucesión natural y perturbado; plantaciones con sucesión natural y perturbado (Fig. 6 y Apéndice 1). Las plantaciones presentaron el mayor valor de mediana de conectancia ponderada (Apéndice 2). El hábitat conservado fue diferente de los tres restantes hábitats teniendo en cuenta esta métrica, también fueron diferentes las plantaciones con la sucesión natural y el hábitat perturbado; y la sucesión natural con el perturbado (Fig. 6 y Apéndice 1). El hábitat perturbado fue el de mayor valor de mediana teniendo en cuenta la diversidad de Shannon (Apéndice 2). Las diferencias fueron entre la sucesión natural con el hábitat conservado, las plantaciones y el perturbado; y entre las plantaciones y el hábitat perturbado (Fig. 6 y Apéndice 1). El hábitat conservado presentó mayor valor de mediana para la homogeneidad de la interacción (Apéndice 2). En cuanto a este parámetro las diferencias se presentaron entre la sucesión natural con el conservado, las plantaciones y el perturbado (Fig. 6 y Apéndice 1). El hábitat perturbado fue el de mayor valor de mediana teniendo en cuenta el índice de especialización de la red (Apéndice 2). El valor de este índice mostró diferencias entre el hábitat conservado con las plantaciones, la sucesión natural y el perturbado; y entre las plantaciones con la sucesión natural y el perturbado (Fig. 6 y Apéndice 1).

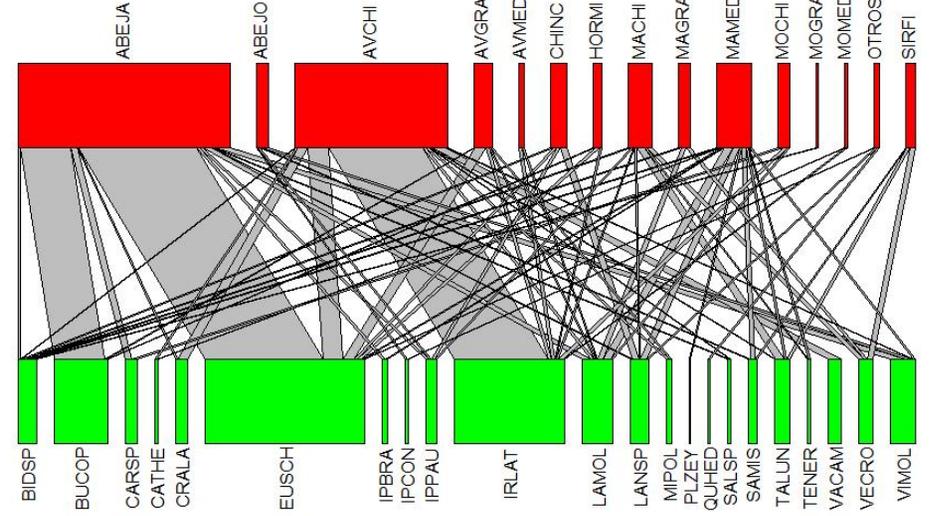
Los meses con los parámetros de las redes manifestaron una tendencia lineal aunque la variable mes no explicó en una medida aceptable a los parámetros (Fig. 7). Noviembre resultó el mes con mayor modularidad y abril y enero los de menor valor. En el mes de abril se registró el valor más alto de anidamiento ponderado y en mayo el

menor. La conectancia ponderada fue mayor en agosto y mayo y menor en junio y noviembre. Noviembre fue el mes del valor más alto de diversidad de Shannon y enero el de menor. La homogeneidad de la interacción fue más alta en agosto y más baja en enero. Junio fue el mes con el valor más alto del índice de especialización de la red y abril el de menor valor (Fig. 7).

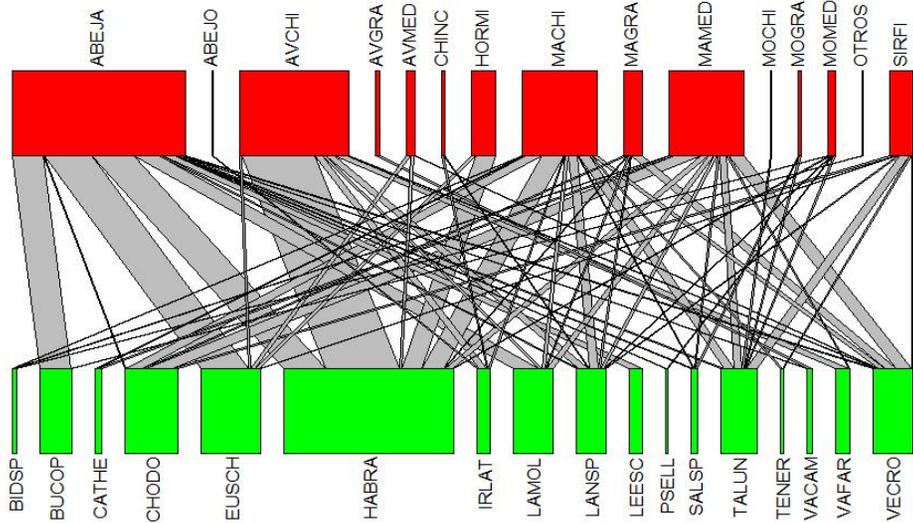
### Perturbado



### Sucesión natural



### Plantaciones



### Conservado

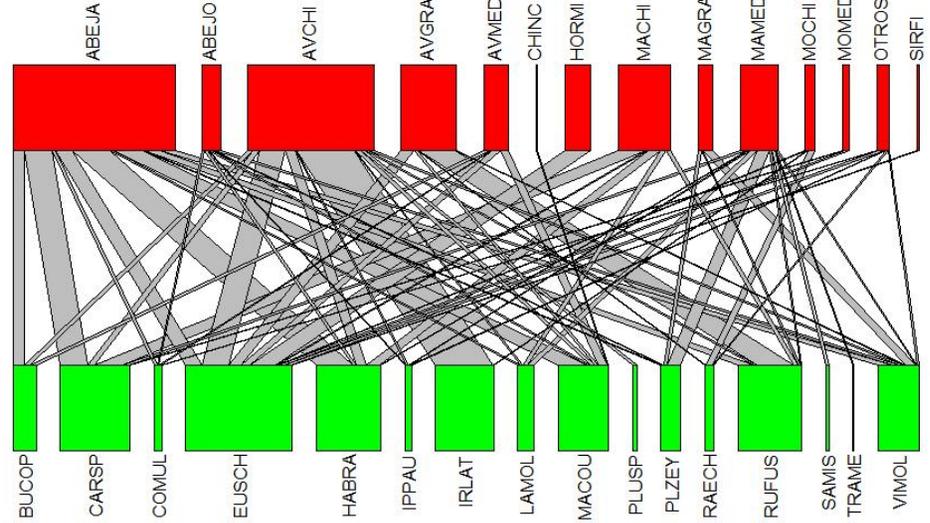
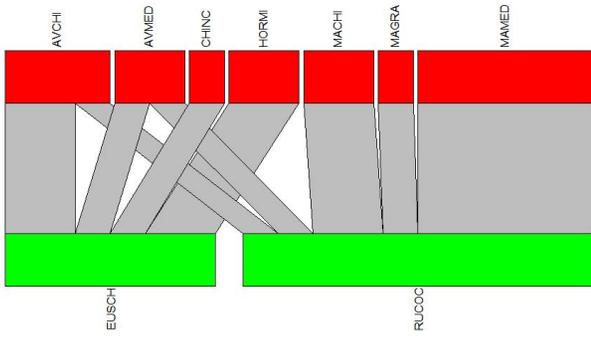


Figura 1. Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales de visitantes florales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción.

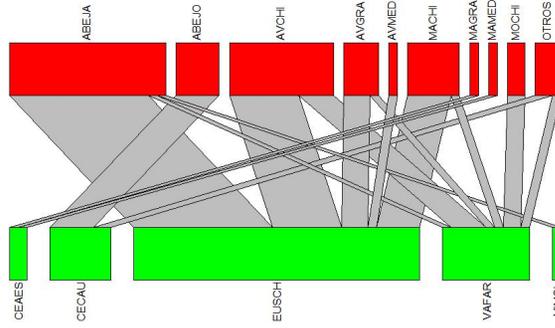
Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVMED: avispa mediana; AVGRA: avispa grande; CHINC: chinche; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; MOGRA: mosca grande; OTROS: catarina, colibrí, escarabajo, grillos, no identificado y mosquito; SIRFI: sírfido.

Especies de plantas: BIDSP: *Bidens* sp., BUCOP: *Bursera copallifera*, BUGRA: *Bursera grandifolia*, CAERI: *Calliandra eriophylla*, CARSP: *Carlowrightia* sp., CATHE: *Cascabela thevetioides*, CECAU: *Celtis caudata*, CEAES: *Ceiba aesculifolia*, CHODO: *Chromolaena odorata*, COMUL: *Conzattia multiflora*, CRALA: *Crescentia alata*, CRCIL: *Croton ciliatoglandulifer*, DAHUM: *Dalea humilis*, EUSCH: *Euphorbia schlehtendalii*, HABRA: *Haematoxylum brasiletto*, IPBRA: *Ipomoea bracteata*, IPCON: *Ipomoea konzattii*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, IRLAT: *Iresine latifolia*, LAMOL: *Lagascea mollis*, LANSP: *Lantana* sp., LANSP2: *Lantana* sp (2), LEESC: *Leucaena esculenta*, LYACA: *Lysiloma acapulcense*, MACOU: *Mariosousa coulteri*, MEPAN: *Melampodium paniculatum*, MIPOL: *Mimosa polyantha*, OXASP: *Oxalis* sp., PLACU: *Plumeria acutifolia*, PLUSP: *Plumbago* sp., PLZEY: *Plumbago zeylanica*, PSELL: *Pseudobombax ellipticum*, QUHED: *Quamoclit hederifolia*, RAECH: *Randia echinocarpa*, RHAMN: Rhamnaceae sp, RUCOC: *Russelia coccinea*, RUFUS: *Ruprechtia fusca*, SALSP: *Salvia* sp., SAMIS: *Salvia misella*, SAPRO: *Sanvitalia procumbens*, SEUNI: *Senna uniflora*, TALUN: *Tagetes lunulata*, TENER: *Tetramerium nervosum*, TRAME: *Tragoceros americanum*, VACAM: *Vachellia campechiana*, VAFAR: *Vachellia farnesiana*, VECRO: *Verbesina crocata*, VIMOL: *Vitex mollis*.

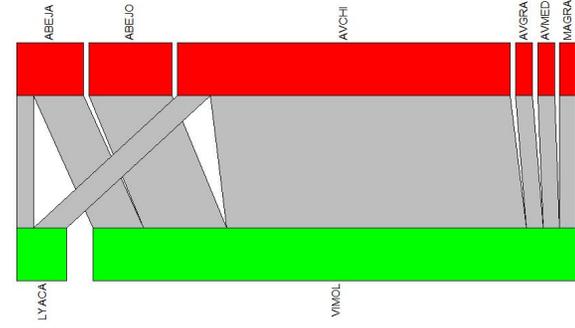
**Febrero**



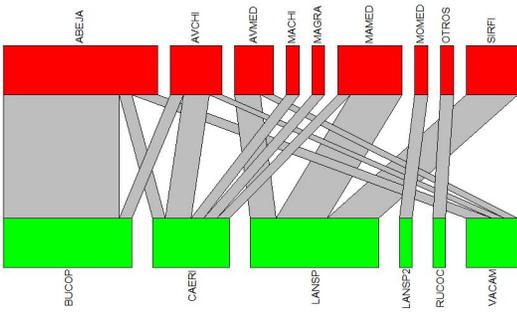
**Marzo**



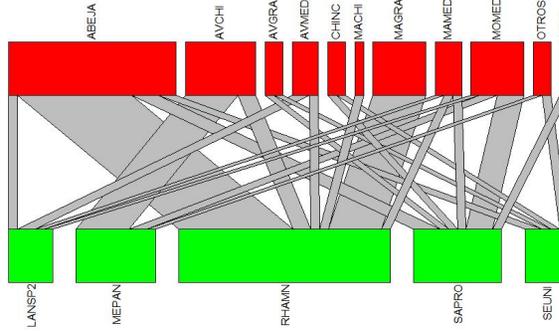
**Abril**



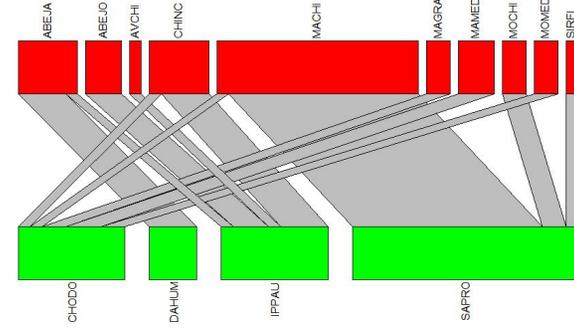
**Junio**



**Agosto**



**Noviembre**



**Enero**

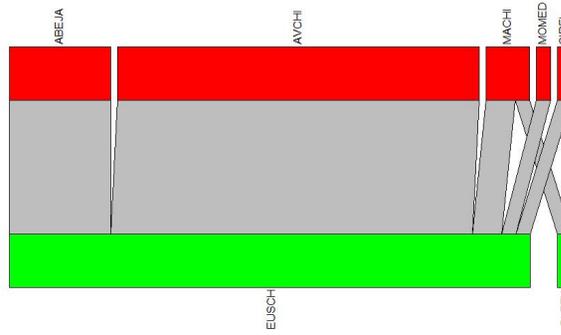
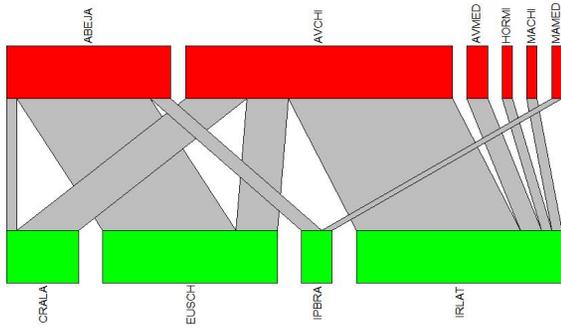


Figura 2. Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat perturbado en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción.

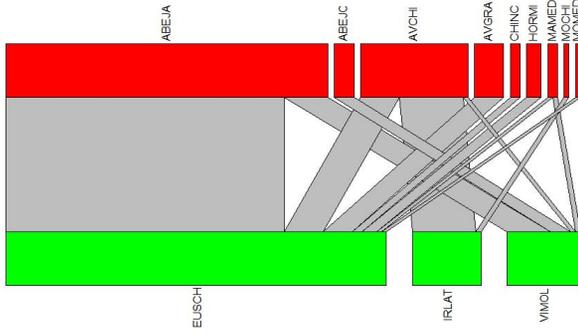
Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVMED: avispa mediana; AVGRA: avispa grande; CHINC: chinche; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; OTROS: catarina, colibrí, escarabajo, grillos, no identificado y mosquito; SIRFI: sírfido.

Especies de plantas: BUCOP: *Bursera copallifera*, CAERI: *Calliandra eriophylla*, CEAES: *Ceiba aesculifolia*, CECAU: *Celtis caudata*, CHODO: *Chromolaena odorata*, DAHUM: *Dalea humilis*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, LANSP: *Lantana* sp, LANSP2: *Lantana* sp (2), LYACA: *Lysiloma acapulcense*, MEPAN: *Melampodium paniculatum*, PLZEY: *Plumbago zeylanica*, RHAMN: Rhamnaceae sp, RUCOC: *Russelia coccinea*, SAPRO: *Sanvitalia procumbens*, SEUNI: *Senna uniflora*, VACAM: *Vachellia campechiana*, VAFAR: *Vachellia farnesiana*, VIMOL: *Vitex mollis*.

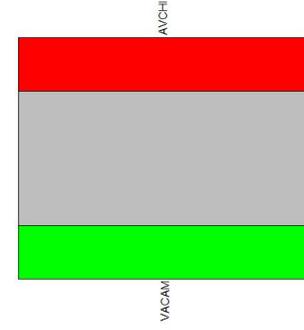
### Febrero



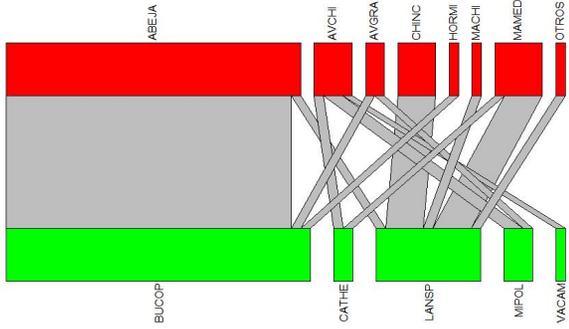
### Marzo



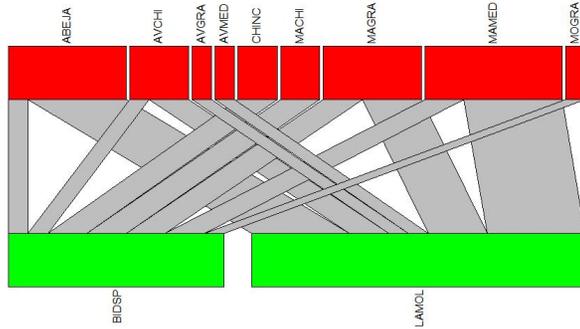
### Mayo



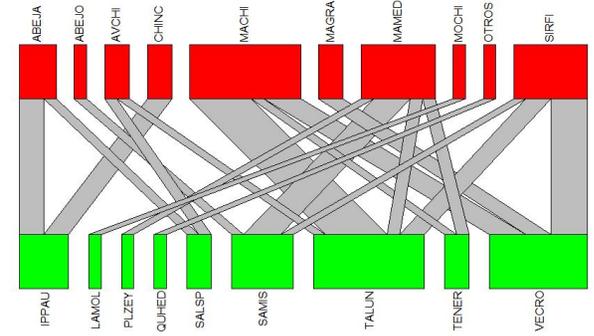
### Junio



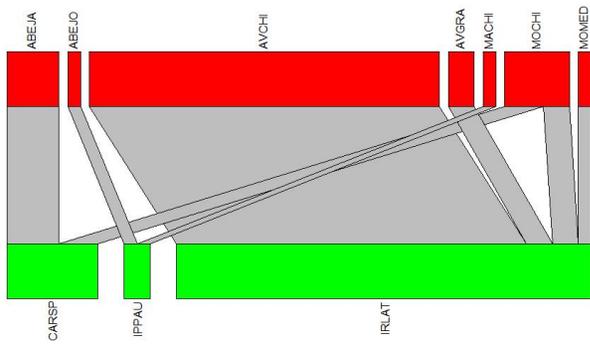
### Agosto



### Noviembre



### Diciembre



### Enero

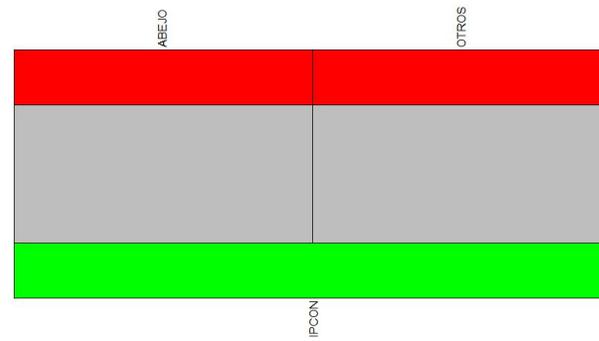
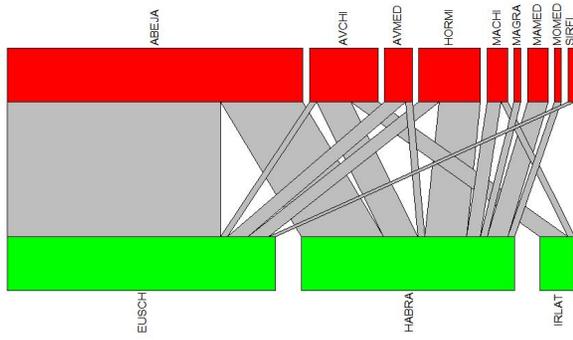


Figura 3. Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat de sucesión natural en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción.

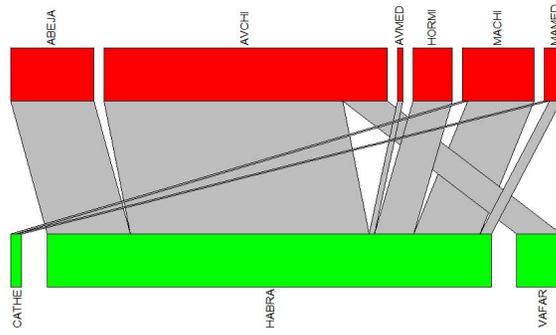
Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVMED: avispa mediana; AVGRA: avispa grande; CHINC: chinche; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; MOGRA: mosca grande; OTROS: catarina, colibrí, escarabajo, grillos, no identificado y mosquito; SIRFI: sírfido.

Especies de plantas: BIDSP: *Bidens* sp., BUCOP: *Bursera copallifera*, CARSP: *Carlowrightia* sp., CATHE: *Cascabela thevetioides*, CRALA: *Crescentia alata*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, IPBRA: *Ipomoea bracteata*, IPCON: *Ipomoea konzattii*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, IRLAT: *Iresine latifolia*, LAMOL: *Lagascea mollis*, LANSP: *Lantana* sp., MIPOL: *Mimosa polyantha*, PLZEY: *Plumbago zeylanica*, QUHED: *Quamoclit hederifolia*, SALSP: *Salvia* sp., SAMIS: *Salvia misella*, TALUN: *Tagetes lunulata*, TENER: *Tetramerium nervosum*, VACAM: *Vachellia campechiana*, VECRO: *Verbesina crocata*, VIMOL: *Vitex mollis*.

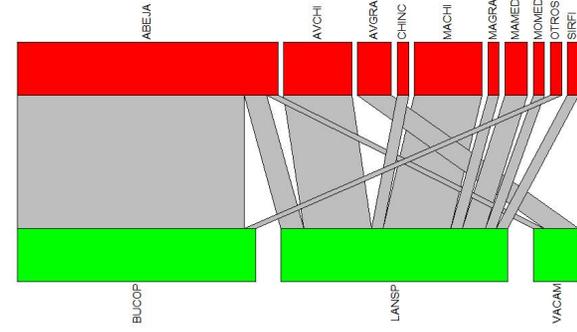
### Febrero



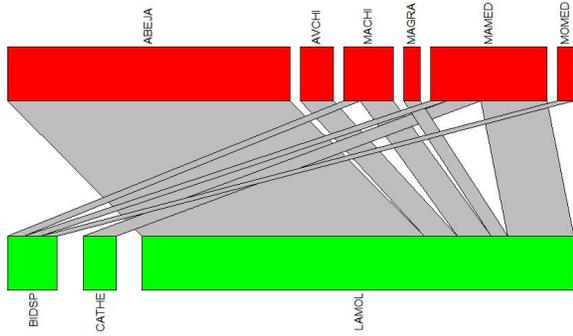
### Marzo



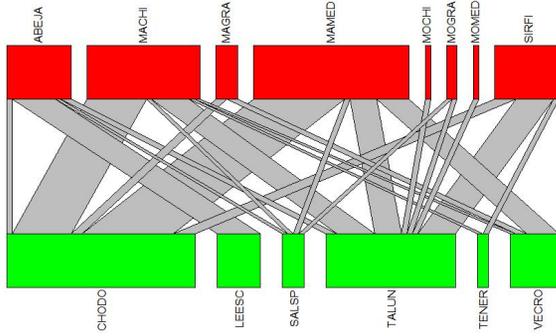
### Junio



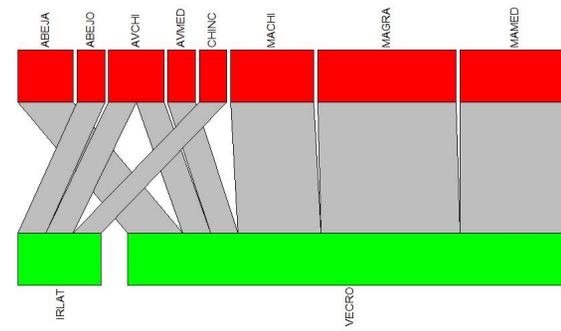
### Agosto



### Noviembre



### Diciembre



### Enero



Figura 4. Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat de plantaciones de restauración en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción.

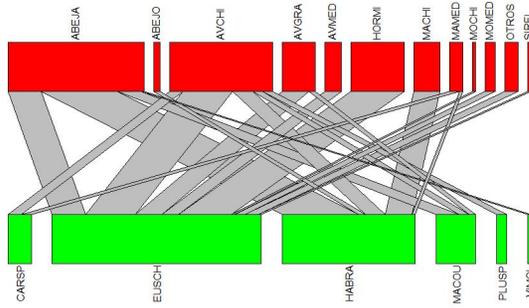
Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVMED: avispa mediana; AVGRA: avispa grande; CHINC: chinche; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; MOGRA: mosca grande; OTROS: catarina, colibrí, escarabajo, grillos, no identificado y mosquito; SIRFI: sírfido.

Especies de plantas: BIDSP: *Bidens* sp., BUCOP: *Bursera copallifera*, CATHE: *Cascabela thevetioides*, CHODO: *Chromolaena odorata*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, HABRA: *Haematoxylum brasiletto*, IRLAT: *Iresine latifolia*, LAMOL: *Lagascea mollis*, LANSP: *Lantana* sp, LEESC: *Leucaena esculenta*, PSELL: *Pseudobombax ellipticum*, SALSP: *Salvia* sp., TALUN: *Tagetes lunulata*, TENER: *Tetramerium nervosum*, VACAM: *Vachellia campechiana*, VAFAR: *Vachellia farnesiana*, VECRO: *Verbesina crocata*.

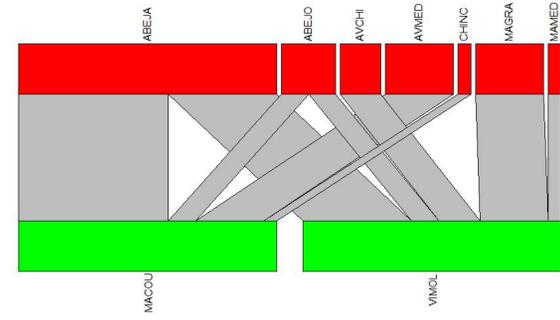
### Febrero



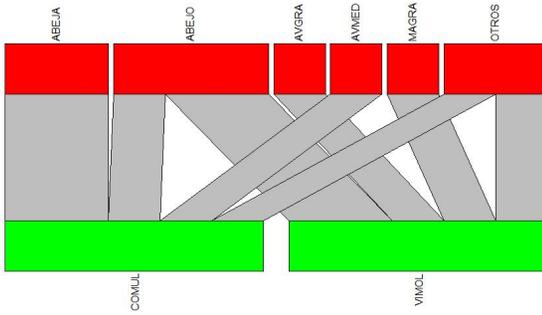
### Marzo



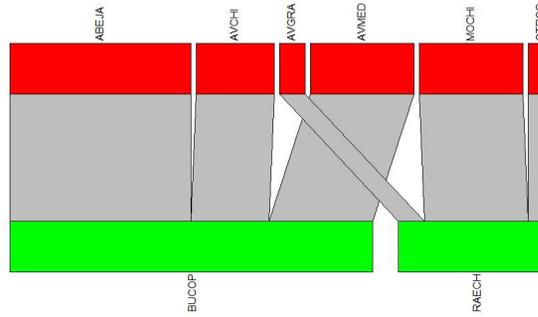
### Abril



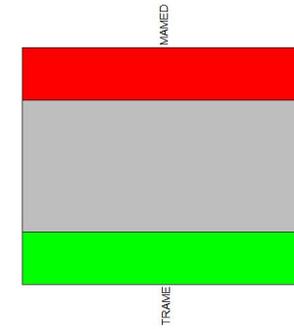
### Mayo



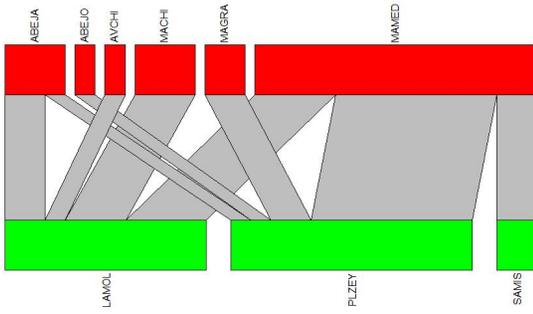
### Junio



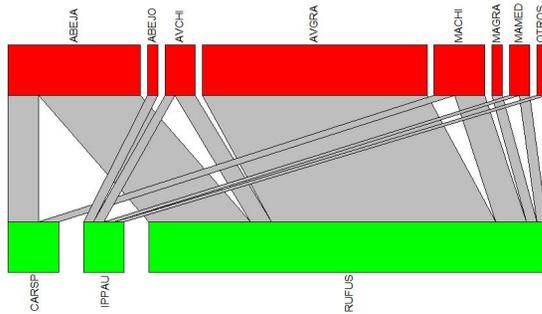
### Agosto



### Noviembre



### Diciembre



### Enero

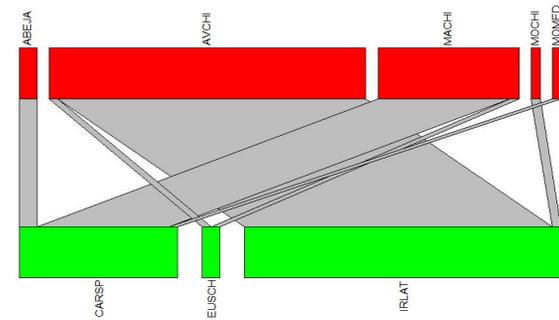


Figura 5. Redes bipartitas para especies de plantas con flores y grupos funcionales de visitantes florales en un hábitat conservado de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las especies de plantas (color verde) y grupos funcionales (color rojo) se representan por rectángulos y la interacción se representa por las líneas grises que los conectan, el grosor de la línea depende de la intensidad de la interacción.

Grupos funcionales: ABEJO: Abejorro; AVCHI: avispa chica; AVMED: avispa mediana; AVGRA: avispa grande; CHINC: chinche; HORMI: hormiga; MACHI: mariposa chica; MAMED: mariposa mediana; MAGRA: mariposa grande; MOCHI: mosca chica; MOMED: mosca mediana; OTROS: catarina, colibrí, escarabajo, grillos, no identificado y mosquito, SIRFI: sírfido.

Especies de plantas: BUCOP: *Bursera copallifera*, CARSP: *Carlowrightia* sp., COMUL: *Conzattia multiflora*, EUSCH: *Euphorbia schlechtendalii*, HABRA: *Haematoxylum brasiletto*, IPPAU: *Ipomoea pauciflora*, IRLAT: *Iresine latifolia*, LAMOL: *Lagascea mollis*, MACOU: *Mariosousa coulteri*, PLUSP: *Plumbago* sp., PLZEY: *Plumbago zeylanica*, RAECH: *Randia echinocarpa*, RUFUS: *Ruprechtia fusca*, SAMIS: *Salvia misella*, TRAME: *Tragoceros americanum*, VIMOL: *Vitex mollis*.

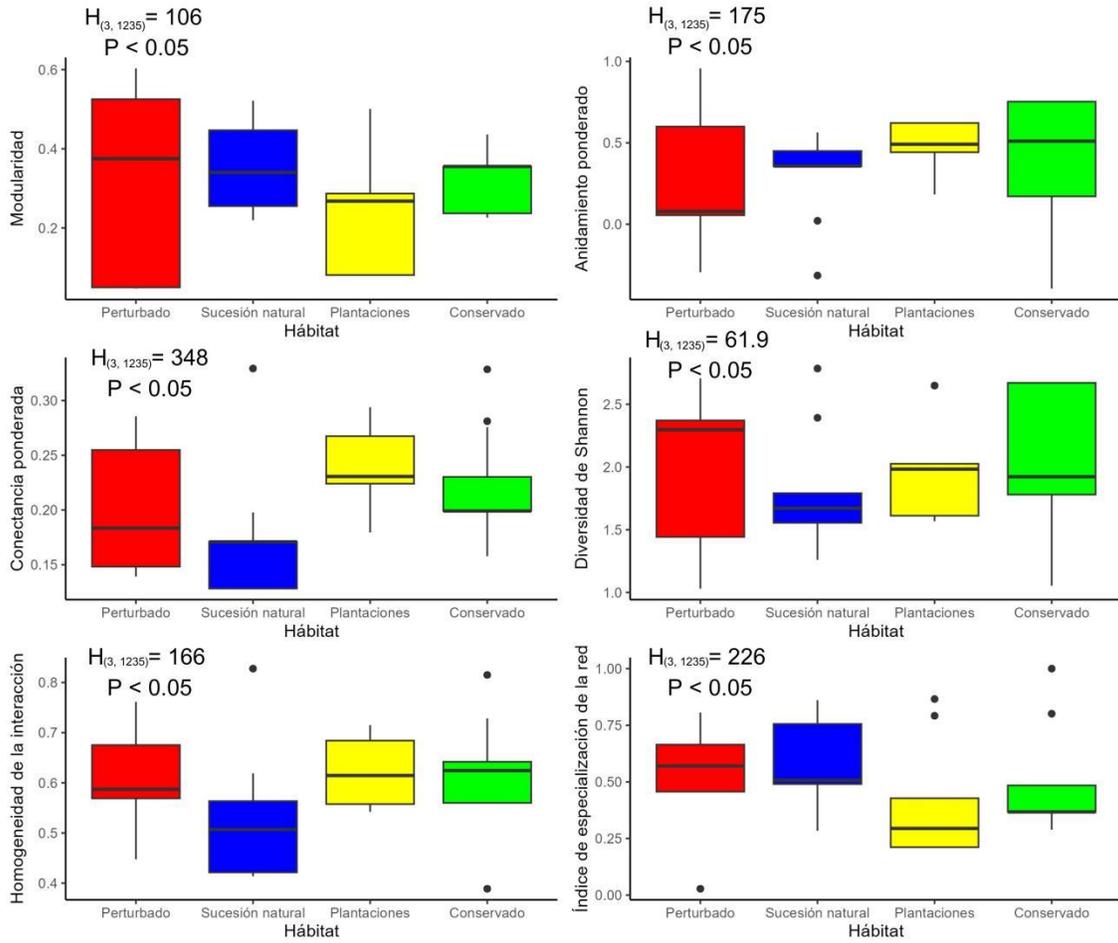


Figura 6. Relación entre los parámetros de las redes de interacción y los cuatro tipos de hábitats durante nueve meses en la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Las cajas representan el 50 % de los datos, las líneas que atraviesan las cajas son las medianas, las líneas que salen de las cajas definidas como bigotes representan cada una el 25 % de los datos y los puntos negros fuera de las cajas son outlier u observaciones extremas en los datos.

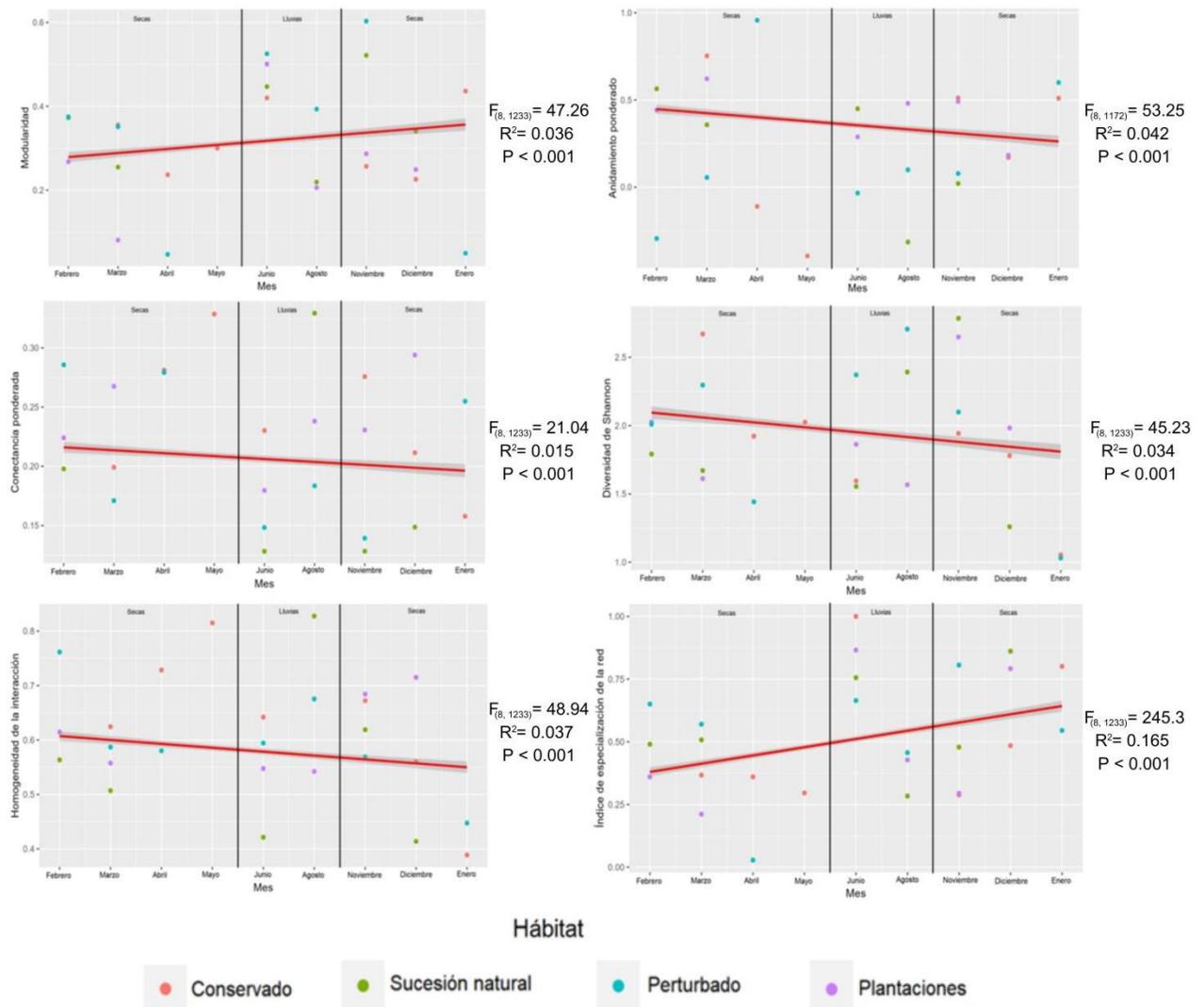


Figura 7. Relación entre los parámetros de las redes de interacción y los nueve meses (febrero de 2022 a enero de 2023) de estudio durante dos temporadas (secas y lluvias, separadas con líneas negras) en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

## DISCUSIÓN

### Redes de interacción

La sucesión natural presentó el valor más alto de número de interacciones, esto indica que este proceso lleva a importantes efectos positivos para los visitantes florales. *Euphorbia schlechtendalii* fue la especie más visitada en tres de los cuatro hábitats, quizás por producir su mayor cantidad de flores precisamente en marzo y atraer a los visitantes florales; pues en este mes fue cuando se registró mayor riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes. Cabe destacar que las plantaciones fue el hábitat que difirió en cuanto a la especie de planta más visitada por los grupos funcionales de visitantes; siendo *Haematoxylum brasiletto* la que recibió la mayor cantidad de visitas. Esta diferencia puede estar asociada a que se plantaron en este hábitat especies para acelerar el proceso de sucesión natural. Por lo anterior se van a modificar en consecuencia las interacciones planta-visitante floral. Por otra parte, se ha documentado que las especies de plantas más abundantes y que producen muchas flores (como *Euphorbia* y *Haematoxylum*) son visitadas con mayor frecuencia que las menos abundantes con baja producción de flores (Tavera et al., 2023; Hernández-Villa et al., 2020).

De acuerdo a nuestra hipótesis los parámetros de las redes difirieron entre hábitats y con el tiempo. En nuestro estudio las interacciones entre las plantas y sus visitantes florales no son constantes ni en el espacio ni en el tiempo y sus variaciones pueden ser notables; planteamiento demostrado por Price et al. (2005) y Petanidou et al. (2008). Cortés-Flores et al. (2023) demostraron que las interacciones entre plantas y visitantes

son dinámicas y varían con la fenología de la floración y con los cambios sucesionales en la diversidad de plantas y animales. Según Tavera et al. (2023) el recambio de especies a lo largo del tiempo es un factor importante en la variación de las interacciones planta-visitante floral, por lo tanto, la fenología floral es el factor más razonable para explicar los cambios en la estructura de la red de interacción entre los meses de estudio. De acuerdo con Valverde et al. (2014) las interacciones pueden mostrar diferencias debido a la baja disponibilidad de recursos florales alternativos, esto se manifestó en las interacciones exclusivas en algunos meses. La menor cantidad de redes de interacción encontrada en el hábitat perturbado evidencian como varía la abundancia aun cuando presenta una riqueza elevada de grupos funcionales de visitantes, lo que demuestra que una mayor riqueza no necesariamente se relaciona con una mayor abundancia. Loyola-Guillermo & Pezo-Yaguana (2018) encontraron que la riqueza de insectos polinizadores (Diptera e Hymenoptera) no respondió a ninguna variable biótica ni abiótica; una de sus posibles explicaciones es que la riqueza puede ser explicada por las especies de plantas a las que polinizan. Quizás la abundancia esté determinada por otros factores como puede ser la identidad de las especies de plantas florecidas. Varios estudios han registrado una relación positiva entre la abundancia de polinizadores y los recursos florales (Blaauw & Isaacs, 2014; Hegland & Boeke, 2006; Hines & Hendrix, 2005). De acuerdo con Herrera (2005), la composición específica del conjunto de visitantes florales puede responder tanto a factores intrínsecos como extrínsecos a las plantas. La menor cantidad de redes de interacciones en el tiempo encontradas en el hábitat perturbado y la mayor en el conservado pone en evidencia cómo afecta la antropización las interacciones entre flores y sus visitantes. De acuerdo con Cordeiro et al. (2009), la deforestación y la

fragmentación modifican las interacciones planta-animal, con implicaciones directas para la conservación. Según Cortés-Flores et al. (2023) las etapas sucesionales maduras (hábitat conservado en nuestro caso) funcionan como una fuente continua de recursos florales que apoyan a las comunidades de polinizadores. En el hábitat perturbado se registró la mayor cantidad de interacciones en agosto lo que puede deberse a que en este mes se encontraba en alta densidad floral la herbácea *Bidens* sp. Las herbáceas resultan claves para mantener las interacciones mutualistas en estos hábitats perturbados.

Según De Souza et al. (2022) la sucesión natural y las plantaciones tienen el potencial de mantener las condiciones ecológicas necesarias para el establecimiento de interacciones planta-visitante. El planteamiento anterior no significa que esas interacciones van a comportarse similar, pues hemos demostrado que los parámetros de las redes de interacción pueden ser diferentes aun cuando la riqueza y composición de plantas y animales sea similar. Los hábitats perturbado y sucesión natural presentaron los valores más altos de índice de especialización de la red; esto sugiere una mayor vulnerabilidad ante perturbaciones como puede ser la desaparición parcial o total de alguna de las especies interactuantes en la comunidad (Bascompte & Jordano, 2007). También puede indicar una partición de nicho alta en la red y que en estos hábitats existen más interacciones entre especies especialistas que generalistas en comparación con los demás hábitats (Blüthgen et al., 2006). Se ha sugerido que los mecanismos responsables de los grados de especialización en las redes de interacción son los rasgos morfológicos y ecológicos de las especies interactuantes (Maglianesi et al., 2014). Los hábitats perturbado y sucesión natural presentaron no sólo los valores más altos de índice de especialización de la red, sino también la mayor riqueza de plantas con flores.

Contrario a nuestros resultados Memtsas et al. (2022) en 20 islas del Egeo, encontraron que la especialización de la red disminuyó con la riqueza de plantas y aumentó con la riqueza de polinizadores; pero cabe destacar que en nuestro caso evaluamos un conjunto más amplio de visitantes florales no sólo polinizadores. Fründ et al. (2010) destacan que la especialización depende de los polinizadores más que de la diversidad de plantas. Según Schleuning et al. (2012) en latitudes tropicales altamente productivas, la especialización de la red disminuyó con la riqueza de plantas. Cada ecosistema es un mundo distinto y por tanto se comportan diferente; las mismas métricas pueden tener resultados opuestos dependiendo del sitio de estudio y de la identidad de los visitantes que se evalúen, incluso dentro del mismo ecosistema es probable que ocurran cambios temporales.

Los valores más altos de índice de especialización de red se obtuvieron en los hábitats perturbado y sucesión natural, por lo que se esperaría una menor redundancia funcional en comparación con los hábitats conservado y plantaciones; pues a mayor especies especialistas disminuye la probabilidad de que existan varias especies con papeles similares en la comunidad. Destacar que en nuestro caso para los visitantes tratamos con grupos funcionales y no especies, por lo que podría tener un comportamiento diferente la redundancia funcional. Además, en las redes con baja redundancia funcional, aumentan las interacciones simétricas, carecen de anidamiento y podrían desaparecer ante perturbaciones, pues implican alta dependencia entre los niveles tróficos de la red (Landi et al., 2018). Por otra parte, los hábitats conservado y plantaciones al presentar los valores más altos de anidamiento, presentan mayor asimetría, lo que proporciona redundancia funcional a la red (Fontenla et al., 2019). En nuestro

estudio los hábitats de mayor diversidad taxonómica de plantas (aunque no es significativa) son donde se esperaría menor redundancia funcional si la asociamos con la especialización de la red y el anidamiento. Sin embargo, según Negret (2016), para los sistemas con alta diversidad taxonómica se espera, que tengan una alta redundancia funcional y por ende una menor vulnerabilidad funcional a la pérdida de especies. Laliberté et al. (2010) encontraron que la intensificación del uso de la tierra reduce la redundancia funcional; aunque nuestro hábitat perturbado probablemente no se encuentra bajo uso intensivo, sí puede verse afectada su redundancia funcional por el cambio de uso de suelo. Esto tiene implicaciones no solo para el entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas sino en los diseños de planes de manejo (Mouillot et al., 2013). Aquellos hábitats con baja redundancia funcional están más expuestos a la pérdida de interacciones planta-visitante floral. Por ejemplo, según Calderón-Morales et al. (2019) la resiliencia de los bosques tropicales del norte de Costa Rica depende en gran medida de su redundancia funcional. Es por ello por lo que en las acciones de restauración se deben tener en cuenta las especies y la redundancia funcional para mantener los procesos claves del ecosistema. Por otra parte, Hooper et al. (2005) plantean que una mayor redundancia funcional asociada con altos índices de diversidad puede amortiguar los impactos de un disturbio sobre los ecosistemas, contribuyendo a una mayor capacidad de recuperación de éste. El hábitat perturbado presentó la mayor mediana de diversidad de interacciones de Shannon y la sucesión natural la menor aún con valores de riqueza similares, lo que sugiere que la diversidad de interacciones no se relaciona con la riqueza de especies o grupos funcionales (Carman & Jenkins, 2016).

El hábitat perturbado presentó el valor más alto de modularidad, esto indica que existen subconjuntos de especies que interactúan con mayor frecuencia entre sí que con especies en otros módulos (Olesen et al., 2007) por lo que la mayoría de los enlaces están dentro de los módulos (Romero et al., 2020). Esta modularidad más alta en el hábitat perturbado aumenta la estabilidad de la red, reteniendo los impactos de una perturbación dentro de un solo módulo y minimizando los impactos en otros módulos (Teng & McCann, 2004). Cortés-Flores et al. (2023) en una selva estacional registraron mayor valor de modularidad en el estado sucesional temprano, en nuestro estudio este parámetro resultó mayor en el hábitat perturbado el cual podemos considerar como estado sucesional temprano, pues la localidad se encuentra altamente conservada (De Leon, 2005). En nuestro estudio el anidamiento ponderado fue más alto en el hábitat conservado lo que implica una alta redundancia de las interacciones y del grado de asimetría; además de la existencia de una red núcleo que es un grupo relativamente pequeño de especies altamente conectadas (Bascompte et al., 2003). Se ha sugerido que el anidamiento puede surgir como consecuencia de los efectos combinados de la abundancia de especies (Vázquez et al., 2005). Una estructura anidada minimiza la competencia y aumenta el número de especies coexistentes (Bastolla et al., 2009). También hace que la comunidad sea más robusta frente a extinciones aleatorias (Burgos et al., 2007) y pérdida de hábitat (Fortuna & Bascompte, 2006). El anidamiento ponderado fue más alto en el estado sucesional tardío para Cortés-Flores et al. (2023) en la selva estacional de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala en México, y para nosotros en el hábitat conservado, lo que sería homólogo a su sitio. La homogeneidad de las interacciones resultó mayor para nosotros en el hábitat conservado por lo que los vínculos de interacción se distribuyen de

manera más uniforme entre especies en ambas partes de la red e indica una partición de nicho más alta para este hábitat (Emer & Memmott, 2023). Cortés-Flores et al. (2023) encontraron el mayor valor de la homogeneidad de las interacciones en los estados sucesionales intermedios y tardíos; nosotros en el hábitat conservado. Por último, el índice de especialización de la red fue más alto en el estado sucesional temprano para Cortés-Flores et al. (2023) y para nosotros en el hábitat perturbado. De manera general nuestros resultados tienen gran semejanza con los de Cortés-Flores et al. (2023) quizás por llevarse a cabo ambos estudios en selva estacional y en Reservas de la Biosfera mexicanas. Aunque las redes son complejas, podrían existir ciertos parámetros que se comporten similar en iguales ecosistemas.

El hábitat conservado resulta particularmente importante en mayo, pues es el único hábitat que tiene interacciones en ese mes que permiten obtener parámetros de las redes, pues en la sucesión natural (el otro hábitat con interacción) solo tiene una especie de planta y una de animal. Noviembre es el único mes donde se registraron interacciones en todos los hábitats. Quizás porque los meses anteriores fueron lluviosos y con temperaturas bastantes estables (ver Apéndice 1 del Capítulo 1), esto pudo llevar a que de las 16 plantas con flores en ese mes, 11 fueran herbáceas, las cuales pueden ofertar recurso floral en cualquier hábitat. Gómez-Fuentes-Galindo et al. (2017) en una selva mediana subcaducifolia secundaria en Yucatán, México, encontraron tres veces mayor riqueza de herbáceas en lluvias que en secas, en cambio las arbustivas y arbóreas mantuvieron sus riquezas relativamente iguales. En nuestro estudio esas herbáceas que pudieron crecer en lluvias dieron sus flores a inicios de la seca y con ello se

incrementaron las interacciones por la cantidad de recurso floral vigente; pues según Potts et al. (2003) hay una relación positiva entre abundancia de flores y de visitantes.

La variación intranual y entre hábitats en las interacciones puede ser indicio de la ocurrencia de cambios temporales dentro de un ecosistema o hábitat. La similitud en cuanto a modularidad del hábitat perturbado con la sucesión natural (mes de febrero) y el conservado (mes de marzo); y por otra parte la mayor variación obtenida entre perturbado y conservado (mes de enero), evidencia cómo este parámetro no va a manifestar una tendencia en el tiempo en cuánto a hábitat con mayor o menor valor. La modularidad parece no estar determinada por el tipo de hábitat; quizás pueda deberse a las especies de plantas y visitantes que interaccionan en ese momento; la identidad y abundancia de las plantas con flores y en consecuencia de sus visitantes pudiera tener influencia en la existencia de módulos. La similitud entre las plantaciones y el hábitat conservado en cuanto al anidamiento, diversidad de Shannon, homogeneidad de la interacción e índice de especialización de la red en ciertos meses puede deberse a que las plantaciones se realizaron con el objetivo de acelerar la sucesión para alcanzar similitud con el hábitat conservado. Sin embargo, la mayor similitud en cuanto a conectancia fue entre los hábitats conservado y perturbado (mes de abril).

Nosotros registramos el valor más alto del índice de especialización de la red en junio (lluvias) en cambio, Tavera et al. (2023) analizaron la variación temporal de las redes de planta-visitante floral en un remanente de bosque templado en Michoacán y obtuvieron el valor más alto de este índice en marzo (secas). El tipo de ecosistema es diferente y por tanto las precipitaciones cambian los patrones de interacción de las

especies de manera distinta. Para estos autores la conectancia resultó mayor en marzo y para nosotros en agosto. Cabe destacar que marzo fue el mes de mayor especialización y conectancia para Tavera et al. (2023) en cambio en nuestro estudio junio fue el mes de mayor especialización y de menor conectancia. En ambos estudios obtuvimos el mayor anidamiento (nosotros en abril y Tavera et al. (2023) en febrero) y modularidad (nosotros en noviembre y Tavera et al. (2023) en marzo) en secas y la mayor homogeneidad de la interacción en lluvias (nosotros en agosto y Tavera et al. (2023) en octubre). Contrario a nuestros resultados Escobedo-Kenefic et al. (2020), al analizar las redes de visitantes florales (sólo abejas) entre estaciones climáticas en un paisaje heterogéneo en Guatemala encontraron mayor valor de modularidad en lluvias. El anidamiento para estos autores fue mayor en secas al igual que en nuestro estudio. Según Escobedo-Kenefic et al. (2020), la estacionalidad no solo afecta la diversidad de especies sino también la forma en que las especies interaccionan en la comunidad.

Las interacciones planta-visitante floral entre hábitats y en el tiempo resultaron muy cambiantes, no se observa un patrón estable en su comportamiento. Esta variabilidad entre los hábitats demuestra la necesidad de contar con varios tipos de hábitats a la hora de hacer restauración funcional para tratar de garantizar la existencia de interacciones en el tiempo. De acuerdo a Escobedo-Kenefic et al. (2020), se deben preservar los recursos florales locales y los hábitats naturales heterogéneos para conservar interacciones entre plantas y sus visitantes. Resulta muy difícil predecir los cambios temporales en las interacciones entre las plantas con flores y sus visitantes; estas interacciones pueden verse afectadas por la identidad y abundancia de las especies de plantas con flores, la especialización de los visitantes, el clima cambiante y la presencia de disturbios.

## LITERATURA CITADA

- Albrecht, M., Padrón, B., Bartomeus, I. & Traveset, A. (2014) Consequences of plant invasions on compartmentalization and species roles in plant-pollinator networks. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1788), 20140773.
- Bascompte, J. & Jordano, P. (2007) Plant-Animal mutualistic networks: The architecture of biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 38, 567-593.
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C.J. & Olesen, J.M. (2003) The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, 9383-9387.
- Bastolla, U., Fortuna, M.A., Pascual-García, A., Ferrera, A., Luque, B. & Bascompte, J. (2009) The architecture of mutualistic networks minimizes competition and increases biodiversity. *Nature*, 458, 1018-1020.
- Blaauw, B. & Isaacs, R. (2014) Larger patches of diverse floral resources increase insect pollinator density, diversity, and their pollination of native wildflowers. *Basic and Applied Ecology*, 15(8), 701-711.
- Blüthgen, N., Menzel, F. & Blüthgen, N. (2006) Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecol*, 6(9),1-12.
- Burgos, E., Ceva, H., Perazzo, R.P.J., Devoto, M., Medan, D., Zimmermann, M. & Maria Delbue, A. (2007) Why nestedness in mutualistic networks? *Journal of Theoretical Biology*, 249, 307-313.
- Byers, D.L. (2017) Studying Plant-Pollinator Interactions in a Changing Climate: A Review of Approaches. *Applications in Plant Sciences*, 5(6), 1700012.
- Calderón-Morales, E. (2019) Diversidad funcional de respuestas y redundancia funcional en bosques lluviosos maduros de Costa Rica y su relación con variables ambientales y el espacio. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, División de Educación, Turrialba, Costa Rica. pp. 47.
- Carman, K. & Jenkins, D.G. (2016) Comparing diversity to flower-bee interaction networks reveals unsuccessful foraging of native bees in disturbed habitats. *Biological Conservation*, 202, 110-118.

- Cordeiro, N.J., Ndangalasi, H.J., Mcentee, J.P. & Howe, H.F. (2009) Disperser limitation and recruitment of an endemic African tree in a fragmented landscape. *Ecology*, 90, 1030-1041.
- Cortés-Flores, J., Lopezaraiza-Mikel, M., de Santiago-Hernández, M.H., Martén-Rodríguez, S., Cristóbal-Pérez, E.J., Aguilar-Aguilar, M.J., Balvino-Olvera, F.J., Delgado-Carrillo, O., Sayago, R., Fuchs, E.J., Sanchez-Montoya, G. & Quesada, M. (2023) Successional and phenological effects on plant-floral visitor interaction networks of a tropical dry forest. *Journal of Ecology*, 111(4), 927-942.
- Crouzeilles, R., Ferreira, M.S., Chazdon, R.L., Lindenmayer, D.B., Sansevero, J.B.B., Monteiro, L., Iribarrem, A., Latawiec, A.E. & Strassburg, B.B.N. (2017) Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, 3, e1701345.
- Dáttilo, W. & Rico-Gray, V.E. (2018) Ecological networks in the tropics. Cham, Switzerland: Springer.
- De Leon, M.A (2005) Fenología de especies de plantas con frutos carnosos y disponibilidad espacial y temporal de este recurso en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla: Implicaciones para los vertebrados. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, Mexico. pp. 76.
- Dormann, C.F., Fründ, J., Blüthgen, N. & Gruber, B. (2009) Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *Open Ecology J.*, 2, 7-24.
- Emer, C. & Memmott, J. (2023) Intraspecific variation of invaded pollination networks - the role of pollen-transport, pollen-transfer and different levels of biological organization. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 21, 151-163.
- Escobedo-Kenefic, N., Landaverde-González, P., Theodorou, P., Cardona, E., Dardón, M.J., Martínez, O. & Domínguez, C.A. (2020) Disentangling the effects of local resources, landscape heterogeneity and climatic seasonality on bee diversity and plant-pollinator networks in tropical highlands. *Oecologia*, 194(3), 333-344.
- Fonseca, C.R. & Ganade, G. (2001) Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *Journal of Ecology*, 89, 118-125.

- Fontenla, J.L., García, Y.F., Reinoso, Z.C. & de Zayas, A.M.Á. (2019) Red de interacción ecológica insectos-plantas en Playas del Este, La Habana, Cuba. *Acta Botánica Cubana*, 218(2), 129-142.
- Fortuna, M.A. & Bascompte, J. (2006) Habitat loss and the structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecology Letters*, 9, 281-286.
- Fründ, J., Linsenmair, K.E. & Blüthgen, N. (2010) Pollinator diversity and specialization in relation to flower diversity. *Oikos*, 119(10), 1581-1590.
- Gómez-Fuentes-Galindo, T., González-Rebeles, C., López-Ortiz, S., Ku-Vera, J. C., Albor-Pinto, C. & Sangines-García, J. R. (2017) Dominancia, composición química-nutritiva de especies forrajeras y fitomasa potencial en una selva secundaria. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(4), 617-634.
- Harvey, E., Gounand, I., Ward, C.L. & Altermatt, F. (2017) Bridging ecology and conservation: from ecological networks to ecosystem function. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 371-379.
- Hegland, S. & Boeke, L. (2006) Relationships between the density and diversity of floral resources and flower visitor activity in a temperate grassland community. *Ecological Entomology*, 31(5), 532-538.
- Hernández-Villa, V., Vibrans, H., Uscanga-Mortera, E. & Aguirre-Jaimes, A. (2020) Floral visitors and pollinator dependence are related to floral display size and plant height in native weeds of central Mexico. *Flora*, 262, 151505.
- Herrera, C.M. (2005) Plant generalization on pollinators: species property or local phenomenon? *American Journal of the Botanical Society of America*, 92(1), 13-20.
- Hines, H. & Hendrix, S. (2005) Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) diversity and abundance in tallgrass prairie patches: effects of local and landscape floral resources. *Environmental Entomology*, 34(6), 1477-1484.
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S. y colaboradores. (2005) Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75, 3-35.

- Jordano, P. (1987) Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. *American Naturalist*, 129, 657-677.
- Kaiser-Bunbury, C.N. & Blüthgen, N. (2015) Integrating network ecology with applied conservation: a synthesis and guide to implementation. *AoB Plants*, 7, plv076. doi:10.1093/aobpla/plv076.
- Laliberté, E., Wells, J.A., Declerck, F., Metcalfe, D.J., Catterall, C.P., Queiroz, C., Aubin, I., Bonser, S.P., Ding, Y., Fraterrigo, J.M., McNamara, S., Morgan, J.W., Merlos, D.S., Vesk, P.A. & Mayfield, M.M. (2010) Land-use intensification reduces functional redundancy and response diversity in plant communities. *Ecology Letters*, 13(1), 76-86.
- Landi, P., Minoarivelo, H.O., Brännström, Å., Hui, C. & Dieckmann, U. (2018) Complexity and stability of ecological networks: a review of the theory. *Population ecology*, 60(4), 319-345.
- Loyola-Guillermo, N.A. & Pezo-Yaguana, K.V. (2018) Diversidad de insectos polinizadores y su respuesta a recursos florales, temperatura, humedad, precipitación y viento en un matorral andino del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. pp. 39.
- Maglianesi, M.A., Blüthgen, N., Böhning-Gaese, K. & Schleuning, M. (2014) Morphological traits determine specialization and resource use in plant-hummingbird networks in the neotropics. *Ecology*, 95(12), 3325-3334.
- Memtsas, G.I., Lazarina, M., Sgardelis, S.P., Petanidou, T. & Kallimanis, A.S. (2022) What plant-pollinator network structure tells us about the mechanisms underlying the bidirectional biodiversity productivity relationship?. *Basic and Applied Ecology*, 63, 49-58.
- Montoya, D. (2019) Restauración de redes ecológicas: Escalas espacial y temporal, estabilidad y cambio global. *Ecosistemas*, 28(2), 11-19.
- Montoya, D., Haegeman, B., Gaba, S., De Mazancourt, C., Bretagnolle, V. & Loreau, M. (2019) Trade-offs in provisioning and stability of ecosystem services in agroecosystems. *Ecological Applications*, 29(2), e01853.

- Mouillot, D., Bellwood, D.R., Baraloto, C., Chave, J., Galzin, R., Harmelin-Vivien, M., Kulbicki, M., Lavergne, S., Lavorel, S. & Mouquet, N. (2013) Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. *Plos Biology*, 11:e1001569.
- Negret, B.E.S. (Ed.). (2016) *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. pp. 238.
- Olesen, J.M., Bascompte, J., Dupont, Y.L. & Jordano, P. (2007) The modularity of pollination networks. *PNAS*, 104, 19891-19896.
- Petanidou, T., Kallimanis, A.S., Tzanopoulos, J., Sgardelis, S.P. & Pantis, J.D. (2008) Long-term observation of a pollination network: fluctuation in species and interactions, relative invariance of network structure and implications for estimates of specialization. *Ecology Letters*, 11(6), 564-75.
- Potts, S.G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G. & Willmer, P. (2003) Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities? *Ecology*, 84(10), 2628-2642.
- Price, M.V., Waser, N.M., Irwin, R.E., Campbell, D.R. & Brody, A.K. (2005) Temporal and spatial variation in pollination of a montane herb: a seven year study. *Ecology*, 86(8), 2106-16.
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rico-Gray, V. & Oliveira, P.S. (2007) *The ecology and evolution of ant-plant interactions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Romero, D., Ornos, C., Vargas, P. & Olesen, J.M. (2020) Solitary bees (Hymenoptera, Apoidea) as connectors in pollination networks: the case of *Rhodanthidium*. *Apidologie*, 51, 844-854.
- Santamaría, S. & Méndez, M. (2021) Heterogeneidad espacial a pequeña escala y diversidad de interacciones planta-visitante floral en alta montaña. *Ecosistemas*, 30(1), 2131.

- Schleuning, M., Fründ, J., Klein, A. M., Abrahamczyk, S., Alarcón, R., Albrecht, M. & Blüthgen, N. (2012) Specialization of mutualistic interaction networks decreases toward tropical latitudes. *Current biology*, 22(20), 1925-1931.
- Soares, R.G.S., Ferreira, P.A. & Lopes, L.E. (2017) Can plant-pollinator network metrics indicate environmental quality?. *Ecological Indicators*, 78, 361-370.
- Tavera, A., de Santiago-Hernández, M.H. & Cuevas, E. (2023) Temporal variation of a plant-floral visitor network in a temperate forest in Michoacán, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, pp. 13.
- Teng, J. & McCann, K.S. (2004) Dynamics of compartmented and reticulate food webs in relation to energetic flow. *American Naturalist*, 164, 85-100.
- Tylianakis, J.M. & Morris, R.J. (2017) Ecological Networks Across Environmental Gradients. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(1), 25-48.
- Tylianakis, J.M., Laliberté, E., Nielsen, A. & Bascompte, J. (2010) Conservation of species interaction networks. *Biol. Conserv.* 143, 2270-2279.
- Valverde, J., Calatayud, J., Gómez, J.M. & Perfectti, F. (2014) Variación intraestacional en los visitantes florales de *Erysimum mediohispanicum* en Sierra Nevada. *Ecosistemas*, 23(3), 83-92.
- Vázquez, D.P., Poulin, R., Krasnov, B.R. & Shenbrot, G.I. (2005) Species abundance and the distribution of specialization in host-parasite interaction networks. *Journal of Animal Ecology*, 74(5), 946-955.

## APÉNDICES

**Apéndice 1.** Análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) y comparaciones post-hoc utilizando la prueba Mann Whitney-Wilcoxon para probar las diferencias en los parámetros de las redes entre cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. P: Perturbado, SN: Sucesión natural, PL: Plantaciones, C: Conservado.

<b>Parámetro</b>	<b>Estadístico H</b>	<b>Valor p</b>	<b>Diferencias entre hábitats según post-hoc</b>
Modularidad	$H_{(3, 1235)} = 106$	$p < 0.05$	PL y C ( $p < 0.001$ ), PL y SN ( $p < 0.001$ ), PL y P ( $p < 0.001$ )
Anidamiento ponderado	$H_{(3, 1235)} = 175$	$p < 0.05$	C y SN ( $p < 0.001$ ), C y P ( $p < 0.001$ ), PL y SN ( $p < 0.001$ ), PL y P ( $p < 0.001$ )
Conectancia ponderada	$H_{(3, 1235)} = 348$	$p < 0.05$	C y PL ( $p < 0.001$ ), C y SN ( $p < 0.001$ ), C y P ( $p < 0.001$ ), PL y SN ( $p < 0.001$ ), PL y P ( $p < 0.001$ ), SN y P ( $p < 0.001$ )
Diversidad de Shannon	$H_{(3, 1235)} = 61.9$	$p < 0.05$	C y SN ( $p < 0.001$ ), PL y SN ( $p < 0.001$ ), SN y P ( $p < 0.001$ ), PL y P ( $p < 0.05$ )
Homogeneidad de la interacción	$H_{(3, 1235)} = 166$	$p < 0.05$	C y SN ( $p < 0.001$ ), PL y SN ( $p < 0.001$ ), SN y P ( $p < 0.001$ )
Índice de especialización de la red	$H_{(3, 1235)} = 226$	$p < 0.05$	C y PL ( $p < 0.001$ ), C y SN ( $p < 0.001$ ), C y P ( $p < 0.001$ ), PL y SN ( $p < 0.001$ ), PL y P ( $p < 0.001$ )

**Apéndice 2.** Valores obtenidos (mediana/valor más alto) para los parámetros de las redes de interacción en cuatro hábitats de la localidad de El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México.

Parámetro	Hábitat			
	Perturbado	Sucesión natural	Plantaciones	Conservado
Modularidad	0.37/0.60	0.34/0.52	0.26/0.50	0.35/0.44
Anidamiento ponderado	0.07/0.96	0.35/0.56	0.49/0.62	0.51/0.75
Conectancia ponderada	0.18/0.29	0.17/0.33	0.23/0.29	0.19/0.33
Diversidad de Shannon	2.29/2.71	1.67/2.78	1.98/2.65	1.92/2.67
Homogeneidad de la interacción	0.58/0.76	0.50/0.83	0.61/0.72	0.62/0.82
Índice de especialización de la red	0.57/0.81	0.50/0.86	0.29/0.87	0.36/1.00

## CAPÍTULO IV

### IMPLICACIONES PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

- Durante la planeación de las acciones de restauración ecológica se deben tener presentes los meses con mayor densidad floral para beneficiar las interacciones planta-visitante floral. Lograr mantener o potenciar las interacciones mutualistas, como las de planta-visitante floral, es una meta de la recuperación de la función del ecosistema.
- A la hora de implementar plantaciones de restauración se debe pensar en mantener el recurso floral disponible durante todo el año para los visitantes florales. Se deben seleccionar plantas con fenologías que no se superpongan, gran producción de flores y largos períodos de floración. Por otra parte, se debe tener presente la composición de las plantas pues diferentes polinizadores pueden interactuar con diferentes especies de plantas.
- Dado que cuando se establecen plantaciones de restauración disminuye el número de especies de herbáceas, se sugiere incluir tratamientos contrastantes como la sucesión natural, donde abundan las herbáceas.

## CONCLUSIONES

Contrario a lo esperado, la riqueza de plantas con flores, la densidad floral y la composición de herbáceas y leñosas fue similar entre hábitats. Contrario a lo esperado la composición de plantas con flores fue similar entre temporadas. Como se esperaba, la riqueza de plantas con flores y la densidad floral difirieron entre meses; estas variables obtuvieron mayor valor de mediana en junio con alta variabilidad en agosto y el mes con mayor densidad floral fue marzo (secas). Contrario a lo esperado, la riqueza, la abundancia y la composición de grupos funcionales de visitantes florales fue similar entre hábitats. Contrario a lo esperado la composición de grupos funcionales de visitantes fue similar entre temporadas. Como se esperaba, la riqueza y abundancia de grupos funcionales de visitantes florales difirieron entre meses, registrándose mayor valor de mediana en marzo. Se sugiere llevar a cabo correlaciones de la densidad floral y la abundancia de visitantes florales interanual para apoyar la hipótesis de una relación positiva entre ambas variables. Como se esperaba, los parámetros de las redes difirieron entre hábitats. La modularidad, la diversidad de Shannon y el índice de especialización de la red presentaron mayor mediana en el hábitat perturbado; la conectancia ponderada resultó con mayor mediana en las plantaciones y el anidamiento ponderado y la homogeneidad de la interacción fueron mayor en el hábitat conservado. Como se esperaba, los parámetros de las redes cambiaron con el tiempo.

En experimentos de restauración se deben considerar todas las formas de vida (árboles, arbustos y hierbas) cuando se quiere evaluar las interacciones planta-visitante floral sobre todo en hábitats como la selva estacionalmente seca. Esto nos brindará una información más fiel de cómo se comportan las interacciones. Si evaluamos sólo riqueza y abundancia de especies y no sus interacciones estamos perdiendo información de cómo está funcionando el ecosistema pues

se pueden tener valores de riqueza y abundancia similares e interacciones completamente diferentes. Las plantaciones, al acelerar la sucesión, no necesariamente van a beneficiar las interacciones mutualistas; con éstas se modifican las interacciones planta-visitante floral, cambiando las especies de plantas más visitadas y la estructura topológica de la red.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

Cuernavaca, Morelos, 6 de marzo de 2024

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Influencia de la fenología floral sobre las interacciones de los visitantes florales en una selva estacionalmente seca en Morelos”** de la alumna **Laritzá González Leiva**, con número de matrícula **10055269**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(  ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

(  ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**

**Dra. Cristina Martínez Garza\***  
**Profesora Investigadora Titular C de T.C.**  
**CIBYC, UAEM**

\* Firmado electrónicamente



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209  
Tel. (777) 329 7019

**UAEM**  
RECTORÍA  
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**CRISTINA MARTINEZ GARZA | Fecha:2024-03-06 18:53:34 | Firmante**

cwwGPr+npe4EsPnCsynOw9h7L0xW8EiKp6D3gfosqNI9Y1/0TAw/Da5O9cnBJMHMI4PyT8MX5+5Kdm3Uh/OcfBHUUHp7yN6H6s9CqOgnE2FQ3x+nvCA8FJwpTkccM+IEK8AFusKRrtquWVx5ue3e/ujqewfOHdPwOe1E2ZVtRw79QuYDJEE/wnW01YF1bVq+/vHEcTxmeouk0HAjIUBK1+Q3cOZsogWEguKSAVvc28gZRUU5NemlZPdVtlmgq1dlLzcYrACryKBAnj7fpGROvuW+0zRe6ThaoktQxVj91Jy9n1tjYFNrbmUtmO6LP6f6euW/8xUlupNUxqH7ENwO/Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[StcF9jWTB](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/xAGqjVH9uKMOfcZB8DsKnNlMrKr7LqYe>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos, 7 de marzo de 2024

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Influencia de la fenología floral sobre las interacciones de los visitantes florales en una selva estacionalmente seca en Morelos”** de la alumna **Laritzza González Leiva**, con número de matrícula **10055269**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(  ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

(  ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

Dra. María Marcela Osorio Beristain\*

\* Firmado electrónicamente





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA MARCELA OSORIO BERISTAIN** | Fecha:2024-03-08 06:48:34 | Firmante

FB32aJLNM5JplXkyHu3Pd/kW720OFcvz2ahqcYyc6PZI0f99bTZnozUl2Bvuol4BYS6n1z4GGaHsL9AF9iLJCiRFSzOucV8T9ISr/X0Q5Oy+pagbldMyH+0jFD9AmkPSJpNvqXac6eLhSk6/85Zp5jdDPI8tH2hQrcakEPPFO520Gk737yKIQUJJDAsEwU2XZ0TqQGc48yDSYytlz/yjnwfpMuxoQuQNVwSNIEclD3GpnOUdDOZ999PcZ/N+hfW0vg9st0ZpM64tYfcDerUs6xuB84n+2Y4DD60APSy/2D8mj4ohM1gS+7TRCZhjcBYwUak9XqWHdLOSz3i/LByy7Pw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[NXdWJyUjQ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ZK3dvZbckZfO4z13PI71IIVN5c8t2AUt>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029



Cuernavaca, Morelos, 13 de marzo de 2024

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Influencia de la fenología floral sobre las interacciones de los visitantes florales en una selva estacionalmente seca en Morelos”** de la alumna **Laritz González Leiva**, con número de matrícula **10055269**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

( x ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

( ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

Dra. Cecilia Díaz Castelazo\*

\* Firmado electrónicamente



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**CECILIA DIAZ CASTELAZO | Fecha:2024-03-13 17:36:01 | Firmante**

IEpn33Xbryn1AyQWf1SXOE5awB+gz5AdffowagCTIltj+Gk1BDqaVKa+BDaoYYcsvKum35NKXhpJYa3CAT0KoH/Q/u4tVH0+Lp+KADj9XRiX7hbBZngEYROui/hOS8x3LdSs0yrJY8BeM0/a2bbZgVOou/J2QvQS2PbhjmPFnftHLvun6+m3UV1GEZNXQEPNWyCsQGW1ugeoLKHgreXmAlhtQlh9UwbWSYyOdZkDyCd3V2h73V0+k6uuAY4Zoo4JREk7BVJGW+cg/1wBmlnvV1vB9GJrvKq3g+keAQ1AoixDnCE7I/Rev6KBC9deHFkWwsSE5plh5KM0lfxkRDzcg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[hSZRx1rNG](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/mlUHir09a8ZUGzemMlqZcsfHJtodarQY>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Escuela de Estudios Superiores del Jicarero

Cuernavaca, Morelos, 14 de marzo de 2024

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Influencia de la fenología floral sobre las interacciones de los visitantes florales en una selva estacionalmente seca en Morelos”** de la alumna **Laritz González Leiva**, con número de matrícula **10055269**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(  ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

(  ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

*\* Firmado electrónicamente*

**Dra. Concepción Martínez Peralta\***  
Profesora Investigadora Asociada “C”  
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**CONCEPCION MARTINEZ PERALTA | Fecha:2024-03-17 12:30:12 | Firmante**

RN2oEJwtb8t0L9v5abOCgJLZGuTpw/FZkAYHvqtUKwHzvNZfXomuW8lcJN6e2+/ll4xojqxE4QtTDUUJmw+gWZP5nj2X2vQexUy/fyZOXermKQ5hF1xc2B9dTrzslLEHVGr+qItHP5  
owdx7Ozig8sXDia+/+I7/KmTI8jphS5TFNw9V49wKzUNP7L9mvYhmWRFP0ll4VqmwAkiWr4keQMHArsstWh1WUN0zVTbqbVS36530IF4Hhx25L0puP2QU3cV4zlvQYLf/zSwZZ  
dQGY2MTWSvHKJZenmK6qlYs0OWtiV/IObzk3RHOCDr0lQhibwwMvUfZ/9Q8Zrh65kPoSWQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[AYvp2WfXt](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/uzLdeeXJD3tgdfxDjeWo3CtG5vWAWeFK>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

Cuernavaca, Morelos, 5 de marzo de 2024

**Coordinación Académica**  
**Maestría en Biología Integrativa de la**  
**Biodiversidad y la Conservación**  
**Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Influencia de la fenología floral sobre las interacciones de los visitantes florales en una selva estacionalmente seca en Morelos”** de la alumna **Laritzza González Leiva**, con número de matrícula **10055269**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(  ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

(  ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

Dra. Paula Vargas Pellicer\*

\* Firmado electrónicamente



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209  
Tel. (777) 329 7019

**UAEM**  
RECTORÍA  
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**PAULA VARGAS PELLICER | Fecha:2024-03-07 08:54:13 | Firmante**

OMjJofSCDcBvjs38U1dYJm2q0Ewv8SpSX/NxL0OfoyEai+cSnB+oqOf9/MdS9H2v/FuPYGLGTyG4apP+9R2X/7WEOxBQrJFX0dj0Drw5Num2BTvzJOXesdXfB3BIh+fC8ppLtG4pYU0ED10yAGRB+ER8fhQmnq8ZFITIK1MwF12cLivVwaiOaX57JksoT+qY2i1g9+0o/WGPolRDY6mpP2zbz7mEvHoZIB+63Krwvx2AleqgXNPp5nDGDmAFb+5ysamb6xS93Zrx5BC80548lyBb+QkT+B/mbW7yUaquk/opgH4w8gXZJXad+ODa+0iZuHYFylpjzWvwBug0UewA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[mpVkmCGfy](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/MNNZeWxj4H3fp5ochPI2Pg1vOJSz5b8H>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029