



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
POSGRADO EN BIOLOGÍA**

**“BIOLOGÍA FLORAL Y COMPUESTOS VOLÁTILES DE TRES ESPECIES
DE HERBÁCEAS EN EL CERRO DE XOCHITEPEC, XOCHIMILCO,
CIUDAD DE MÉXICO”**

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

Paola Mendoza Rivas
2202800719

Asesora:

Dra. María Loraine Matias Palafox

Codirectora:

Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra

Codirector:

Dr. Ricardo Reyes Chilpa

Jurado:

Presidenta

M. en C. Angélica Martínez Bernal
Secretaria

Dra. María Loraine Matias Palafox
Vocal

Dra. Erika Arroyo Pérez
Vocal

Dra. Silvia Laura Guzmán Gutiérrez

Iztapalapa, Ciudad de México
a 28 de junio del 2023
pamque07@gmail.com

La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Calidad del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT). Agradezco al CONAHCYT por la beca No. 1050624, que me fue otorgada para desarrollar mis estudios de maestría, que comprendió del periodo del 31 de agosto del 2020 al 31 de agosto del 2022.

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de “Ecología de Zonas Áridas” del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, bajo la dirección de la Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra y en el Laboratorio de “Productos Naturales” del Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la dirección del Dr. Ricardo Reyes Chilpa. Se contó también con el asesoramiento de la Dra. María Loraine Matias Palafox quien labora en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

El jurado designado por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó:

Paola Mendoza Rivas

El día 28 de junio del 2023

Comité Tutorial y Jurado

Codirectora: Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra

Codirector: Dr. Ricardo Reyes Chilpa

Asesora y sinodal: Dra. María Loraine Matias Palafox

Sinodal: M. en C. Angélica Martínez Bernal

Sinodal: Dra. Erika Arroyo Pérez

Sinodal: Dra. Silvia Laura Guzmán Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada 1050624.

A la Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, por la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y por el financiamiento otorgado para la asistencia a congresos.

A la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, por el apoyo económico otorgado al proyecto: “Ecología y aprovechamiento de los recursos vegetales de zonas semiáridas de México”, bajo la responsabilidad de la Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra, con el cual se financió el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra, por dirigir este proyecto, por todo su apoyo y sus enseñanzas, y por motivarme a seguir aprendiendo.

Al Dr. Ricardo Reyes Chilpa, por la dirección de este proyecto, el apoyo y paciencia en la culminación de esta tesis de maestría.

A la Dra. María Loraine Matias Palafox, por guiarme en este proyecto, por su apoyo, su confianza y sus enseñanzas.

A la M. en C. Angélica Martínez Bernal, por asesorarme en la realización de la descripción taxonómica de las especies de estudio y en la elaboración de las descripciones palinológicas.

A la M. en B. María de Montserrath Medina Acosta, por la asesoría en la elaboración de las descripciones palinológicas, la toma de fotografías para las láminas de microscopía de luz y la preparación de las muestras para microscopía electrónica de barrido.

A la Q. Eréndira García Ríos y a la M. en C. Lucía del Carmen Márquez Alonso del Laboratorio de Cromatografía del Instituto de Química de la UNAM, por la asesoría en el análisis de la composición de azúcares en el néctar.

A la M. en C. Mayra León Santiago del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural del Instituto de Química (LANCIC-IQ), por la asesoría en el análisis de los compuestos orgánicos volátiles.

Al Biól. Daniel Torres Orozco Jiménez, por la toma de fotografías de los visitantes florales.

A la Dra. Erika Arroyo Pérez, por asesorarme con la estadística circular, por la revisión y sus enriquecedoras sugerencias para mejoría de esta tesis.

A la M. en B. María de los Ángeles González Adán, por asesorarme con los índices de diversidad y abundancia, por su gran apoyo brindado en campo y por enriquecer con sus observaciones y comentarios esta tesis.

A la Biól. Susana López Torralba, por sus valiosas sugerencias y comentarios al trabajo final.

A mis compañeros: Ángeles González Adán, Laura Liliana Carpintero Santiago, Eduardo Salinas Moreno, Esleida Salazar Blancas, Diego Ángeles Prado y Alfredo López Caamal, por el gran apoyo brindado en campo.

A los revisores de este trabajo: M. en C. Angélica Martínez Bernal, Dra. María Loraine Matias Palafox, Dra. Erika Arroyo Pérez y la Dra. Silvia Laura Guzmán Gutiérrez, por las acertadas y valiosas observaciones realizadas a este trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi mamá Martha, por amarme tanto, llenar mi vida de alegría, creer en mí y apoyarme siempre. Gracias por ser mi gran amiga y enseñarme a enfrentar cualquier situación con valentía.

A mi papá Juan, por todo el amor que me ha dado, por confiar plenamente en mí, cuidarme y apoyarme siempre. Gracias por hacerme feliz e impulsarme a cumplir mis sueños.

A mi hermano Geovanni, por su amor y apoyo incondicional. Gracias por compartirme tus grandes aventuras y tu valioso conocimiento, que me han motivado a querer explorar y conocer el mundo.

A mi hermana Alex, por confiar en mí, apoyarme y amarme tanto. Gracias por todos los bonitos momentos que hemos compartido, por enseñarme a ser mejor persona cada día y por ser mi psicóloga cuando lo necesito.

A Mari, por amarme, apoyarme y cuidarme como una hija. Gracias por esos abrazos eternos.

A Eduard, por su maravilloso amor y su admiración que me motivan a seguir adelante. Gracias por apoyarme y acompañarme en todo momento.

A mis amigas Emily, Isabel, Jazmín, Astrid, Anareli y Lorena, por ser mujeres tan fuertes que me inspiran a luchar por lo que quiero. Gracias por todo su amor y sus risas que me llenan de felicidad.

A mis compañeras de laboratorio Erika, Ángeles, Susana y Dalia, por su bonita amistad, sus consejos y su gran apoyo. Gracias por guiarme en este camino de la biología e impulsarme a conocer más allá de lo que puedo ver.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Índice de tablas... | 9 |
| Índice de figuras | 10 |
| Índice de láminas... | 13 |
| Resumen... | 15 |
| Abstract..... | 16 |
| 1. Introducción..... | 17 |
| • Biología floral..... | 18 |
| • Fenología..... | 18 |
| • Morfología floral..... | 18 |
| • Granos de polen..... | 19 |
| • Néctar..... | 19 |
| • Compuestos orgánicos volátiles..... | 20 |
| • Visitantes florales..... | 21 |
| • Importancia de las plantas arvenses..... | 21 |
| 2. Antecedentes..... | 23 |
| 3. Justificación..... | 24 |
| 4. Preguntas de investigación..... | 24 |
| 5. Hipótesis..... | 25 |
| 6. Objetivos..... | 25 |
| 7. Métodos | 26 |
| 7.1. Especies de estudio..... | 26 |
| 7.2. Sitio de estudio | 26 |
| 7.3. Biología floral..... | 29 |
| 7.3.1. Fenología..... | 29 |
| 7.3.2. Morfología floral | 30 |
| 7.3.3. Morfología de los granos de polen | 31 |
| 7.3.4. Néctar: volumen, concentración y composición de azúcares | 32 |
| 7.3.5. Compuestos orgánicos volátiles | 33 |
| 7.3.6. Visitantes florales | 34 |

| | |
|--|----|
| 8. Resultados..... | 36 |
| 8.1 Especies de estudio..... | 36 |
| 8.2. Biología floral..... | 41 |
| 8.2.1. Fenología..... | 41 |
| 8.2.2. Morfología floral..... | 45 |
| 8.2.3. Morfología de los granos de polen..... | 49 |
| 8.2.4. Néctar: volumen, concentración y composición de azúcares..... | 59 |
| 8.2.5. Compuestos orgánicos volátiles..... | 60 |
| 8.2.6. Visitantes florales..... | 71 |
| 9. Discusión..... | 85 |
| 10. Conclusiones..... | 95 |
| 11. Referencias bibliográficas..... | 97 |

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadística circular de la fenología floral (botones y flores) de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022).

Tabla 2. Morfología floral de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (n= 20 flores de individuos distintos/especie). Se presenta la media y entre paréntesis el error estándar.

Tabla 3. Caracteres palinológicos medidos en microscopía de luz (ML) de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis*. Se presenta la media (μm).

Tabla 4. Características del néctar de *Salvia polystachia* y *Leonotis nepetifolia*. Se presenta la media y la \pm desviación estándar.

Tabla 5. Composición de azúcares en el néctar de *Salvia polystachia* y *Leonotis nepetifolia* (n=5 muestras de néctar de flores distintas para cada especie).

Tabla 6. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en las flores de *Salvia polystachia*.

Tabla 7. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en las flores de *Leonotis nepetifolia*.

Tabla 8. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en las flores de *Tithonia tubiformis*.

Tabla 9. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en el néctar de *Salvia polystachia*.

Tabla 10. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en el néctar de *Leonotis nepetifolia*.

Tabla 11. Morfoespecies de los visitantes florales de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2020).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio, Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México.

Figura 2. Vista panorámica del sitio de estudio, Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Donde se observa el estrato arenoso, la vegetación herbácea y el bosque reforestado con eucalipto.

Figura 3. *Salvia polystachia*: a) individuos en floración y b) inflorescencia en panícula-espigiforme compacta, en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Octubre 2020.

Figura 4. *Leonotis nepetifolia*: a) individuos en floración y b) inflorescencia terminal verticilastro denso, en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Noviembre 2020.

Figura 5. *Tithonia tubiformis*: a) individuos en floración y b) inflorescencia en cabezuela, en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Octubre 2020.

Figura 6. Histogramas circulares de la fenología floral (botones y flores) de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022). Las barras indican la suma de las frecuencias para un determinado mes. La flecha representa el vector r que indica la concentración de la frecuencia alrededor de la fecha media, valores altos de r indican una actividad fenológica agregada.

Figura 7. Histogramas circulares de la temperatura y la humedad relativa media mensual en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022).

Figura 8. Inflorescencias y estructuras de las flores de las tres especies de estudio.

Figura 9. Porcentaje de artrópodos visitantes de las flores de las tres especies de estudio por orden taxonómico (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020).

Figura 10. Porcentaje de morfoespecies de visitantes florales por orden taxonómico (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020): a) *Salvia polystachia*, b) *Leonotis nepetifolia* y c) *Tithonia tubiformis*.

Figura 11. Porcentaje de visitantes florales por orden taxonómico (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020): a) *Salvia polystachia*, b) *Leonotis nepetifolia* y c) *Tithonia tubiformis*.

Figura 12. Curvas de interpolación y extrapolación de la diversidad de artrópodos visitantes de las flores de *S. polystachia*, *L. nepetifolia* y *T. tubiformis* recolectados en 2020. Las líneas continuas indican el área de interpolación para cada una de las especies de estudio, el símbolo marca la diversidad observada y las líneas punteadas indican el área de extrapolación. El área sombreada en cada curva de las tres especies representa el intervalo inferior y superior con un 95% de confianza. El gráfico indicado con 0 es ⁰D: riqueza de morfoespecies, el 1 es ¹D: número de morfoespecies igualmente frecuentes y 2 es ²D: número de morfoespecies muy abundantes.

Figura 13. Red de interacción planta-visitante floral de las tres especies de estudio en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Los nodos de lado izquierdo muestran a las especies de plantas y los de lado derecho a los artrópodos visitantes florales. El color amarillo señala a las especies núcleo de visitantes florales. Mientras que las interacciones se muestran en gris. El grosor de cada enlace equivale a la frecuencia de las interacciones.

Figura 14. Diagrama de Venn que muestra las morfoespecies de artrópodos visitantes florales exclusivas y compartidas entre *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en los dos días de observación (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020).

Figura 15. Algunos visitantes florales observados en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2020). *Salvia polystachia*: a) *Xanthocampsomeris limosa* y b) *Xylocopa* sp.; *Leonotis nepetifolia*: c) y d) *Apis mellifera*; *Tithonia tubiformis*: e) *Leptophobia aripa elodia* y f) *Euphoria basalis*.

Figura 16. Número de visitantes florales por hora durante los dos días de observación en las tres especies de estudio. Se presenta también la marcha de la temperatura ambiental (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020).

Figura 17. Época de floración de las tres especies de estudio en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022) y época de floración de *Leonotis nepetifolia* reportada por Díaz-Segura et al., 2020.

ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina I. Esquema de los granos de polen de a) *Salvia polystachia* y b) *Leonotis nepetifolia* en vista polar. C: colpo. GE: grosor de la exina (ilustración por Alexandra Mendoza y por José Juan Mendoza Espinosa).

Lámina II. Imágenes de los granos de polen de *Salvia polystachia* obtenidas por microscopía de luz (ML): 1-3) vistas polares; 4-6) vistas ecuatoriales, se observa la ornamentación birreticulada y heterobrocada (escala de 5 μm).

Lámina III. Microfotografías obtenidas a través de microscopía electrónica de barrido (MEB) de granos de polen de *Salvia polystachia*: 1-2) vista polar; 3-4) vista ecuatorial; 5-6) acercamiento donde se observa la ornamentación birreticulada y heterobrocada de la exina. En la abertura colpada se observan clavas como elementos esculturales.

Lámina IV. Imágenes de los granos de polen de *Leonotis nepetifolia* obtenidas por microscopía de luz (ML): 1-3) vistas polares; 4-5) vistas ecuatoriales, se observa la ornamentación de la exina reticulada (escala de 5 μm).

Lámina V. Microfotografías obtenidas a través de microscopía electrónica de barrido (MEB) de granos de polen de *Leonotis nepetifolia*: 1) vista polar; 2-6) vistas ecuatoriales; 7) acercamiento de la ornamentación reticulada.

Lámina VI. Esquema del grano de polen de *Tithonia tubiformis* en vista ecuatorial. EP: eje polar. EE: eje ecuatorial. LC: largo del colpo. AC: ancho del colpo. OD: opérculo dividido en dos. AE: altura de las espinas. BE: base de las espinas. DEE: distancia entre espinas (ilustración por José Juan Mendoza Espinoza).

Lámina VII. Imágenes de los granos de polen de *Tithonia tubiformis* obtenidas por microscopía de luz (ML): 1-2) vista polar, corte óptico, se observa el número de aberturas; 3-4) vista lateral, corte supraóptico, con exina tectada supraequinada; 5-6) vista ecuatorial, corte supraóptico, aberturas compuestas (tricolporadas) y colpo transversal (escala de 12 μm).

Lámina VIII. Microfotografías obtenidas a través de microscopía electrónica de barrido (MEB) de granos de polen de *Tithonia tubiformis*: 1-2) vista panorámica; 3-5) vista

ecuatorial, se observa el detalle de las aberturas compuestas (colporadas); 6) acercamiento de la exina, la base de las espinas presenta microperforaciones.

RESUMEN

Salvia polystachia Cav., *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br. y *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass. son tres herbáceas arvenses ruderales que cohabitan en un relicto de vegetación natural de la Ciudad de México. No se cuenta con estudios de su fenología y morfología floral, ni de sus atractivos y recompensas florales relacionadas con sus visitantes florales. El objetivo del presente trabajo fue conocer algunos aspectos de la biología reproductiva (fenología y morfología floral, néctar, compuestos orgánicos volátiles y visitantes florales) de tres herbáceas silvestres presentes en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, CDMX. En las tres especies de estudio la fenología fue agregada, se observó alta coincidencia en la floración intrapoblacional e interespecífica. Las flores de *S. polystachia* y de *L. nepetifolia* tienen una longevidad de tres días, no se logró determinar la longevidad floral de *T. tubiformis*. La relación polen/óvulo por flor de Cruden (1977) sugiere xenogamia obligada para las tres especies. Los granos de polen de las especies estudiadas se presentan en mónadas, y son isopolares y radiosimétricos. La forma del grano de polen en *S. polystachia* y *L. nepetifolia* es subprolata y en *T. tubiformis* es oblato-esferoidal. El néctar de *S. polystachia* fue dominante en sacarosa (80.07 %) con un volumen promedio de 0.74 μL por flor, el néctar de *L. nepetifolia* fue rico en glucosa (37.80 %) con un volumen promedio de 3.56 μL por flor. No se encontraron cantidades medibles de néctar en *T. tubiformis*. Las flores de las tres especies de estudio emiten α -copaeno, sin embargo, cada especie emite COVs particulares y a diferentes abundancias. *S. polystachia* fue visitada principalmente por himenópteros (32.14 %), *L. nepetifolia* por coleópteros (25.64 %) y hemípteros (23.08 %), mientras que *T. tubiformis* por coleópteros (32.43 %). La red de interacción planta-visitante floral es de tipo bipartita, con tres especies núcleo (*Apis mellifera*, *Sphenarium* sp. y una especie de la familia Curculionidae). La variación en la estructura de la comunidad de visitantes florales entre estas plantas que coexisten, podría ser explicada porque presentan rasgos morfológicos florales y ofrecen recompensas distintas para los visitantes florales. Por lo cual es importante mantener una comunidad diversa de herbáceas ya que representan un recurso importante para los insectos visitantes de flores.

Palabras clave: biología reproductiva, compuestos orgánicos volátiles, flores, herbáceas, néctar, polen, visitantes florales.

ABSTRACT

Salvia polystachia Cav., *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br. and *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass. are three herbaceous ruderal weeds that coexist in a relict of natural vegetation in Mexico City. There are no studies of its floral phenology and morphology, neither of its attractants and floral rewards related to its floral visitors. The objective of this work was to know some aspects of the reproductive biology (phenology and floral morphology, nectar, volatile organic compounds and floral visitors) of three wild herbaceous plants present in the Cerro of Xochitepec, Xochimilco, CDMX. In the three study species, the phenology was aggregated, a high coincidence was observed in intrapopulation and interspecific flowering. The flowers of *S. polystachia* and *L. nepetifolia* have a longevity of three days, it was not possible to determine the floral longevity of *T. tubiformis*. Cruden's (1977) pollen/ovule per flower ratio suggests obligate xenogamy for all three species. The pollen grains of the studied species occur in monads, and are isopolar and radiosymmetric. The shape of the pollen grain in *S. polystachia* and *L. nepetifolia* is subprolate and in *T. tubiformis* it is oblate-spheroidal. The nectar of *S. polystachia* was dominant in sucrose (80.07 %) with an average volume of 0.74 μ L per flower, the nectar of *L. nepetifolia* was rich in glucose (37.80 %) with an average volume of 3.56 μ L per flower. No measurable amounts of nectar were found in *T. tubiformis*. The flowers of the three study species emit α -copaene, however, each species emits particular VOCs and at different abundances. *S. polystachia* was visited mainly by hymenopterous (32.14 %), *L. nepetifolia* by beetles (25.64 %) and hemipterans (23.08 %), while *T. tubiformis* by beetles (32.43 %). The plant-floral visitor interaction network is bipartite, with three core species (*Apis mellifera*, *Sphenarium* sp. and a species from the Curculionidae family). The variation in the structure of the floral visitor community among these coexisting plants could be explained because they present floral morphological traits and offer different rewards for floral visitors. Therefore, it is important to maintain a diverse community of herbaceous plants, given that they represent an important resource for flower-visiting insects.

key words: floral visitors, flowers, herbaceous, nectar, pollen, reproductive biology, volatile organic compounds.

1. INTRODUCCIÓN

La reproducción de la mayoría de las especies de angiospermas (plantas con flores) requiere de polinización cruzada (Espino-Espino et al., 2014), en la cual el polen de una flor es transferido a la flor de otra planta. Esta transferencia se logra con la ayuda de vectores abióticos como el viento o el agua o a través de agentes bióticos donde los insectos juegan un papel muy importante. La polinización cruzada es relevante, ya que evita la endogamia dentro de las poblaciones y propicia el flujo génico entre las poblaciones de una misma especie. La interacción entre los polinizadores y las flores se ha considerado un factor selectivo importante en la evolución de muchos caracteres reproductivos de las plantas, por lo que se considera indispensable en el proceso de diversificación de las angiospermas (Márquez-Guzmán et al., 2013). La relación planta-polinizador ha sido tan estrecha que ha propiciado procesos de coevolución entre plantas y sus polinizadores. Por lo tanto, para entender la evolución de las plantas es necesario conocer y determinar la comunidad de sus visitantes florales (Waser et al., 1996).

La atracción de visitantes florales está determinada en gran medida por los rasgos florales, tales como: color, tamaño, forma, momento de la antesis y su duración, contenido de polen y néctar (Dafni, 1992; Valverde et al., 2015), así como la presencia de aromas o compuestos orgánicos volátiles (COVs), los cuales pueden funcionar como atrayentes para los verdaderos polinizadores y en algunas ocasiones como disuasores para ciertos depredadores (Grajales-Conesa et al., 2011). Estas características hacen que las flores sean atractivas a un grupo determinado de polinizadores, estableciendo así, ciertos síndromes de polinización. Los síndromes de polinización se definen como el fenotipo floral o conjunto de rasgos florales relacionados con la atracción de uno o más grupos específicos de polinizadores, es el resultado de procesos evolutivos (Faegri y Van der Pijl, 1979; Fenster et al., 2004). Se distinguen principalmente especies melitófilas (flores amarillas o azules con corolas amplias, polinizadas por abejas), ornitófilas (flores rojas con corolas tubulares largas y estrechas con gran producción de néctar, polinizadas por aves) y quiropterófilas (flores blancas de antesis nocturna con gran cantidad de néctar y polen, polinizadas por murciélagos) (Faegri y Van der Pijl, 1979; Waser et al., 1996).

La biología floral estudia las causas evolutivas que moldean las estructuras, el comportamiento y los procesos fisiológicos relacionados con la floración de las plantas, por lo cual su estudio es relevante, ya que, comprende las relaciones que se establecen entre las flores y su ambiente (factores abióticos y bióticos) en términos de polinización (Mansilla et al., 2010). Tiene como objetivo determinar la función de los órganos florales en la polinización, para identificar factores que afectan la supervivencia y la dinámica de poblaciones vegetales (Zepeda-Gómez et al., 2020). Su estudio incluye la determinación de la fenología, la morfología floral, el comportamiento floral (tiempo de antesis, tiempo de vida de la flor y maduración de órganos sexuales), así como, la producción de néctar y COVs, el sistema de cruce y apareamiento y los visitantes florales.

La fenología reproductiva se refiere al momento en el que los individuos presentan sus estructuras reproductivas, llamadas también fenofases (botones, flores y frutos) a lo largo de un año (Fenner, 1998; Rathcke y Lacey, 1985). Está determinada tanto por variables ambientales como la humedad relativa, el fotoperiodo, la temperatura y la precipitación que cambian a lo largo del año, así como por factores intrínsecos o fisiológicos de cada especie y de los individuos como edad, estado nutricional, cantidad de energía disponible, entre otros (Trujillo-Argueta y F. del Castillo, 2013). Las estructuras reproductivas constituyen recursos para los herbívoros, algunos de los cuales juegan el papel de polinizadores y dispersores de semillas, mientras que otros son depredadores (Giorgis et al., 2015; Kudo, 2006). Los estudios fenológicos permiten detectar los periodos de floración y fructificación. Así como, identificar la presencia o ausencia de sincronía floral entre las diferentes especies vegetales de una comunidad y entre los individuos de una población. Aspecto de especial importancia, que podría influir en la diversidad y abundancia de los polinizadores (debido a la disponibilidad y densidad del recurso floral) (Kudo, 2006). Es por ello que el estudio de la fenología es fundamental para entender la adaptación de las especies a su ambiente (Rathcke y Lacey, 1985).

La morfología floral se refiere a la descripción de las flores, que incluye la determinación de parámetros como: la longitud de la flor, la amplitud de la corola, la cantidad y longitud de los estambres, el número de granos de polen por antera, la longitud del pistilo, el número de lóbulos del estigma, la amplitud del ovario y el número de óvulos por el

contenido. También incluye la descripción de la forma (infundibuliforme, campanulada, tubular), la simetría y color de la corola, entre otras características que constituyen los síndromes de polinización y que influyen sobre la transmisión de los genes de una generación a otra (Arroyo-Pérez et al., 2019).

Los granos de polen son los gametofitos masculinos de las plantas que contienen a las células sexuales masculinas (gametos masculinos), que constan de una célula vegetativa encargada de formar el tubo polínico y una célula generatriz de la cual a través de procesos mitóticos se forman las células espermáticas (es decir, se forman los gametos masculinos). Por otro lado, en el saco embrionario (gametofito femenino) se forman varias células, una de ellas con dos núcleos polares y la ovocélula. Entonces, un gameto masculino se fusiona con la ovocélula (gameto femenino) para dar lugar al cigoto (el cual, luego de sucesivas divisiones mitóticas formará al embrión) y el otro gameto masculino se fusiona con los dos núcleos polares para dar origen al endospermo (doble fecundación, típica en angiospermas). El embrión y el endospermo forman la semilla que originará a un nuevo individuo (Drews y Koltunow, 2011; Márquez-Guzmán et al., 2013; McCormick, 2004).

La palinología describe las características morfológicas de los granos de polen, lo cual permite la identificación de estos a nivel de familia, género y en algunas ocasiones hasta especie (Márquez-Guzmán et al., 2013). La morfología del polen incluye la descripción de formas (dimensiones y polaridad), asociación entre ellos y características de la exina como aberturas o colpos (número, forma, posición y composición) y poros. El carácter morfológico más importante se basa en los colpos ya que estas estructuras permiten el intercambio gaseoso y la regulación hídrica de los granos de polen, además de que a través de ellos ocurre la salida del tubo polínico (Márquez-Guzmán et al., 2013; Punt et al., 2007). El estudio palinológico de la carga de polen presente en los insectos, nos permite reconocer las especies vegetales visitadas por estos organismos a través de lo cual se puede vislumbrar la importancia relativa de los visitantes florales para la polinización de cierta especie vegetal (González-Sandoval et al., 2016).

El néctar es una solución acuosa compuesta de carbohidratos, aminoácidos, proteínas, lípidos, fenoles, alcaloides y COVs; es secretada por las plantas para atraer y recompensar a los polinizadores (atraídos por el néctar floral) así como a especies mutualistas

(que pueden ser atraídos por néctares extraflorales) que pueden jugar un papel protector de especies vegetales con las cuales están asociadas. Debido a que estas sustancias también atraen a depredadores, los vegetales también producen sustancias defensivas o disuasivas en sus néctares como son proteínas, alcaloides, fenoles y COVs (González-Teuber y Heil, 2009; Rodríguez-Peña, 2011). El volumen, concentración y composición del néctar puede estar determinado por factores como el tamaño de la flor y caracteres bioquímicos, ecológicos y evolutivos relacionados con la especie vegetal (Rodríguez-Peña, 2011; Sandoval-Benítez, 2019). Estas características juegan un papel muy importante en la ecología funcional de las plantas, ya que moldean las redes de interacción entre las plantas y los polinizadores (Kulloli et al., 2011; Lindqvist et al., 2018).

La concentración y composición de azúcares en el néctar están fuertemente relacionadas a las diferentes necesidades energéticas y nutricionales de los grupos funcionales de visitantes florales (González-Teuber y Heil, 2009; Kulloli et al., 2011; Sandoval-Benítez, 2019). Se ha documentado que los colibríes, mariposas, polillas y abejas de lengua larga prefieren néctar rico en sacarosa, mientras que, abejas y moscas de lengua corta prefieren el néctar rico en fructosa y glucosa (Sandoval-Benítez, 2019). Los vertebrados que visitan las flores (aves y murciélagos) requieren menor cantidad de aminoácidos en el néctar que los requeridos por insectos que solo se alimentan de néctar (González-Teuber y Heil, 2009), ya que el primer grupo de organismos pueden obtener nitrógeno de otras fuentes alimenticias (Rodríguez-Peña, 2011).

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) emitidos por plantas se conocen también como aceites volátiles o esencias, los cuales son metabolitos secundarios volátiles, por lo general son altamente lipofílicos de bajo peso molecular y cuya volatilidad se debe a que se evaporan al ser expuestos al aire (Marín-Loaiza y Céspedes, 2007). Estos metabolitos secundarios producen cambios morfológicos y conductuales en otros organismos, por lo que son el objeto de estudio de la ecología química (estudio de las interacciones bióticas mediadas por sustancias químicas). Estos compuestos son importantes en el ciclo de vida de las plantas, ya que poseen diversas propiedades que permiten generar redes de interacción, con implicaciones ecológicas y fisiológicas. Algunas de estas interacciones son: atracción de polinizadores, disuasión de herbívoros, atracción de enemigos naturales de herbívoros y

comunicación entre plantas (Grajales-Conesa et al., 2011). La optimización en la interacción planta-polinizador se debe a que cada especie de planta sintetiza aromas únicos que son reconocidos por los insectos polinizadores. Aunque, algunas veces, distintas especies de plantas comparten componentes químicos, la combinación y la concentración difiere para cada especie, formando de esta manera un "código de aromas" único (Dudareva y Pichersky, 2000).

Las flores constituyen recursos importantes para diversos animales que las visitan. Se considera como **visitante floral** cualquier animal que entra en contacto con la corola de la flor, sin embargo, para que un visitante floral sea considerado como polinizador potencial éste debe entrar en contacto con los órganos reproductivos de la flor (estambres y pistilo). El comportamiento del visitante floral hace referencia a la actividad que realiza en la flor, como puede ser el consumo de polen, de néctar e incluso de los pétalos. Para evaluar la efectividad de los visitantes florales se toman en cuenta varios aspectos, tales como: la frecuencia de visitas (número de visitas/tiempo), la duración de la visita y el comportamiento del visitante (Matias-Palafox et al., 2017).

Un grupo importante de angiospermas presentes en las primeras fases de sucesión, así como en los agroecosistemas son **las plantas arvenses** o plantas herbáceas silvestres (Blanco-Valdes, 2016). Estas plantas son de gran importancia ecológica, ya que tienen ciclos de vida cortos y producen gran cantidad de flores que constituyen recursos importantes para los insectos. Además, estos vegetales son los primeros en aparecer cuando se abandonan los campos de cultivo, formando con sus raíces una malla que evita la erosión del suelo y permiten la retención de la humedad, brindan sombra y retienen nutrientes. En los agroecosistemas, algunas herbáceas son usadas como plantas trampa al alimentar a los herbívoros que podrían convertirse en plagas de los cultivos, además, de que pueden atraer a insectos que favorecen interacciones mutualistas con plantas cultivadas. Aunado a esto, estas plantas herbáceas son importantes para el hombre, ya que algunas de ellas, constituyen fuentes de recursos alimenticios, medicinales y forrajeros (Blanco-Valdes y Leyva, 2007; Espinosa-García, 1981).

La existencia de herbáceas silvestres es fundamental para la **conservación de las poblaciones de polinizadores**. Esto es de especial importancia ya que a nivel mundial

enfrentamos una pérdida de la biodiversidad de polinizadores, debido a la modificación del hábitat (para uso urbano, agrícola y ganadero), la amenaza del cambio climático y el uso de agroquímicos (plaguicidas, insecticidas, fertilizantes y herbicidas) utilizados en la agricultura para aumentar el rendimiento de las cosechas. El uso de agroquímicos afecta al 80% de las 250 mil plantas con flores (Coro-Arizmendi, 2009) que dependen de los polinizadores para su reproducción y al resto de la cadena trófica que de ellos depende. Además, el empleo de agroquímicos tiene repercusiones a nivel de la salud de los agricultores y de los consumidores de estos productos agrícolas (García-García et al., 2016; Garibaldi et al., 2013; Mora-Carrera, 2017).

2. ANTECEDENTES

En México, existen pocos trabajos relacionados sobre la biología floral y los visitantes florales de las plantas arvenses aquí seleccionadas, y no se cuenta con ningún estudio sobre sus compuestos orgánicos volátiles florales. Estas plantas constituyen recursos importantes para los insectos que encuentran un hábitat favorable en los parches de vegetación natural que aún prevalecen dentro de la gran mancha urbana de la Ciudad de México. A continuación, se menciona la información que hasta el momento se tiene sobre las especies seleccionadas:

Salvia polystachia Cav.

Sólo se cuenta con dos estudios sobre sus visitantes florales, en ambos se reporta a las abejas como sus polinizadores, dichos estudios se realizaron en el estado de Chiapas (Dieringer et al., 1991) y Jalisco (Razo-León, 2015). No se encontró ninguna información sobre los compuestos volátiles de esta especie, aunque se cuenta con información sobre sus compuestos orgánicos y su actividad farmacológica antiprotozoaria y antiameboide, por lo que la especie ha sido recomendada como antidiarreica (Calzada et al., 2010 y 2015).

Leonotis nepetifolia (L.) R. Br.

Existen dos estudios sobre su biología floral, uno se realizó en África, lugar de origen de la especie (Gill y Conway, 1979) y otro en Hidalgo en donde se considera como especie exótica e invasora (Díaz-Segura et al., 2020). No se encontró ningún estudio sobre los compuestos volátiles florales, aunque sí sobre compuestos orgánicos con alguna actividad farmacológica. Abubacker y Ramanathan (2003) encontraron que el extracto acuoso de las flores (colectadas en una población de la India) inhibe el crecimiento de los hongos *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*. Veerabadran et al. (2013) reportaron que el extracto metanólico de las hojas (colectadas en Tamil Nadu, India) tiene actividad antioxidante al eliminar radicales libres de manera significativa y actividad antiproliferativa al provocar daños dependientes de la dosis en las líneas celulares cancerosas MCF-7 y Hep2 (línea celular de cáncer de mama y de hígado, respectivamente). Oliveira et al. (2016) mostraron que una fracción del extracto de acetato de etilo obtenido de las hojas de esta especie en poblaciones de Brasil, exhibió un alto potencial de actividad citotóxica y antitumoral.

Tithonia tubiformis (Jacq.) Cass.

Se cuenta con dos trabajos sobre su biología y sus visitantes florales, uno se realizó en Honduras (Muñoz et al., 1995) y el otro en el Estado de México (Hernández-Villa, 2018); en ambos se reportan a los insectos como sus principales polinizadores, sin embargo, en el último también se reporta que los colibríes visitan sus flores. Por otra parte, solo se dispone de algunos reportes sobre su contenido de compuestos orgánicos y de su actividad farmacológica. Hinojosa-Dávalos et al. (2013) señalan que los extractos metanólicos foliares (obtenidos de plantas de diferentes regiones de Jalisco), evaluados en el modelo de inhibición de la elastasa pancreática porcina, presentan actividad antiinflamatoria. Nawaz et al. (2018) determinaron el efecto antineuropático de esta especie. Nawaz et al. (2019) mostraron la actividad antioxidante [en el ensayo del radical libre 2,2- Difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)] y antiinflamatoria (en el modelo “edema de la pata trasera” inducido por carragenina) del extracto metanólico de las partes aéreas de esta planta, obtenidas de poblaciones de Pakistán.

3. JUSTIFICACIÓN

Las flores de las herbáceas silvestres que se encuentran en parches de vegetación remanentes de la periferia de la Ciudad de México, constituyen recursos importantes para los insectos que las visitan formando un reservorio de especial importancia para enfrentar la crisis global de polinizadores. Por lo que la información generada a través de la realización de esta tesis constituye una base fundamental para el establecimiento de estrategias encaminadas a lograr el mantenimiento de los servicios ecosistémicos de estos ambientes.

4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Tomando en cuenta tres especies herbáceas (*Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis*) presentes en el bosque del cerro de Xochitepec documentar:

- 1.- ¿Cómo es su fenología floral?
- 2.- ¿Cuáles son sus características florales?
- 3.- ¿Cuáles son las características de sus atrayentes florales?
4. - ¿Quiénes son sus visitantes florales?

5. HIPÓTESIS

Si las especies seleccionadas presentan diferencias florales en cuanto a fenología, morfología, néctar y compuestos orgánicos volátiles, entonces es probable que se encuentren diferencias entre sus visitantes florales.

6. OBJETIVOS

Objetivo general:

Conocer algunos aspectos de la biología reproductiva de tres herbáceas silvestres presentes en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México.

Objetivos específicos:

- Describir la fenología floral de las especies seleccionadas.
- Describir la morfología de las flores y de los granos de polen.
- Caracterizar el néctar (volumen, concentración y composición de azúcares).
- Identificar los compuestos orgánicos volátiles que emiten sus flores.
- Conocer los visitantes florales.

7. MÉTODOS

7.1. Especies de estudio

La identificación del material botánico y la elaboración de las descripciones taxonómicas de las especies de estudio, se realizaron con el apoyo de la Maestra en Ciencias Angélica Martínez Bernal del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Para lo cual, se utilizó material recolectado en campo y herborizado y se consultaron diversas claves taxonómicas (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2004; Espinosa-García y Sarukhán, 1997; Martínez-Gordillo et al., 2017; Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1990). Además, se revisó la colección científica del Herbario Metropolitano (UAMIZ) para corroborar la identificación de las especies.

Los nombres científicos utilizados en esta investigación de las dos especies de estudio pertenecientes a la familia Lamiaceae [*Salvia polystachia* Cav. y *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br.] están de acuerdo con Martínez-Gordillo et al. (2019), Plants of the World Online (2023) y Villaseñor (2016). Y el nombre de la especie de la familia Asteraceae [*Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass.] de acuerdo con Rzedowski y Calderón de Rzedowski (1985) y Villaseñor (2016).

7.2. Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Cerro de Xochitepec (Xochitepec proviene del náhuatl *xochitl* que significa flor y *tepetl* que significa cerro, cerro florido) también llamado Cerro de la Cruz, recibe este nombre debido a que en la cima del cerro se encuentra una gran cruz de madera cubierta de listones, la cual representa un gran significado para los habitantes de Xochitepec quienes son devotos a la cruz y que cada año realizan ceremonias religiosas en este sitio. Por lo que, este cerro constituye un legado cultural importante. El Cerro de Xochitepec se ubica al sur de la Ciudad de México, entre las alcaldías Tlalpan y Xochimilco, (a 19.1532 N; -99.0817 W y 2240 msnm). Este sitio es un relicto de vegetación natural y colinda con el Heroico Colegio Militar y se encuentra rodeado de asentamientos humanos de la periferia de la Ciudad de México (Figura 1) (Rosales, 2018). Xochitepec es considerado una sierra ya que está compuesto por varias lomas (cuatro picos) que corren en dirección norte-sur (Zimbrón-Romero, 2011; Gobierno de la Ciudad de México [G.C.D.M.X.], 2022). El Cerro

de Xochitepec es un volcán monogenético (es producto de una única erupción volcánica), su contenido petrográfico se constituye por andesitas basálticas con piroxenas, traquiandesitas, dacitas, latitas y riolitas del terciario medio (Gaceta Oficial del Distrito Federal [G.O.D.F.], 2005). La arena volcánica que se encuentra en el lugar constantemente es extraída para la confección de materiales para la construcción. El clima es templado, subhúmedo, con lluvias de verano (Rosales, 2018). La vegetación del sitio está constituida por un bosque reforestado dominado por *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto), otras especies arbóreas que lo acompañan son: *Cupressus lusitanica* (cedro blanco), *Eysenhardtia polystachia* (palo azul), *Juniperus* sp. (enebro), *Pinus* sp. (pino), *Ricinus communis* (ricino) y *Schinus molle* (pirul). Entre las especies arbustivas se encuentran: *Calliandra houstoniana* (barba de viejo), *Montanoa tomentosa* (zoapatle), *Pittocaulon praecox* (palo loco) y *Wigandia urens* (chichicastle manso). Algunas de las especies que se encuentran en el estrato herbáceo son: *Bidens pilosa* (acahual blanco), *Bouvardia ternifolia* (trompetilla), *Calochortus barbatus* (ayatito), *Commelina tuberosa* (quesadilla), *Dahlia coccinea* (dalia roja) y *Zephyranthes fosteri* (mayito). La fauna del sitio está constituida por una gran diversidad de especies, tales como: *Apis mellifera* (abeja melífera), *Cotinis mutabilis* (tomayate), *Crotalus ravus* (cascabel pigmea mexicana), *Cynanthus latirostris* (colibrí pico ancho), *Dasymutilla erythrina* (avispa-hormiga de terciopelo rojo), *Leptophobia aripa* (mariposa blanca de la col), *Lygaeus reclinatus* (chinche pequeña del algodóncillo), *Melanoplus differentialis* (chapulín diferencial), *Neoscona orizabensis* (araña manchada de monte), *Ochraethes dimidiaticornis* (escarabajo de cuernos largos), *Sceloporus torquatus* (lagartija espinosa de collar) y *Sciurus aureogaster* (ardilla vientre rojo) (González-Romero, 2020). Este trabajo se realizó en los márgenes del bosque donde se encuentran parches de vegetación herbácea con dominancia de las plantas seleccionadas en este estudio (Figura 2).

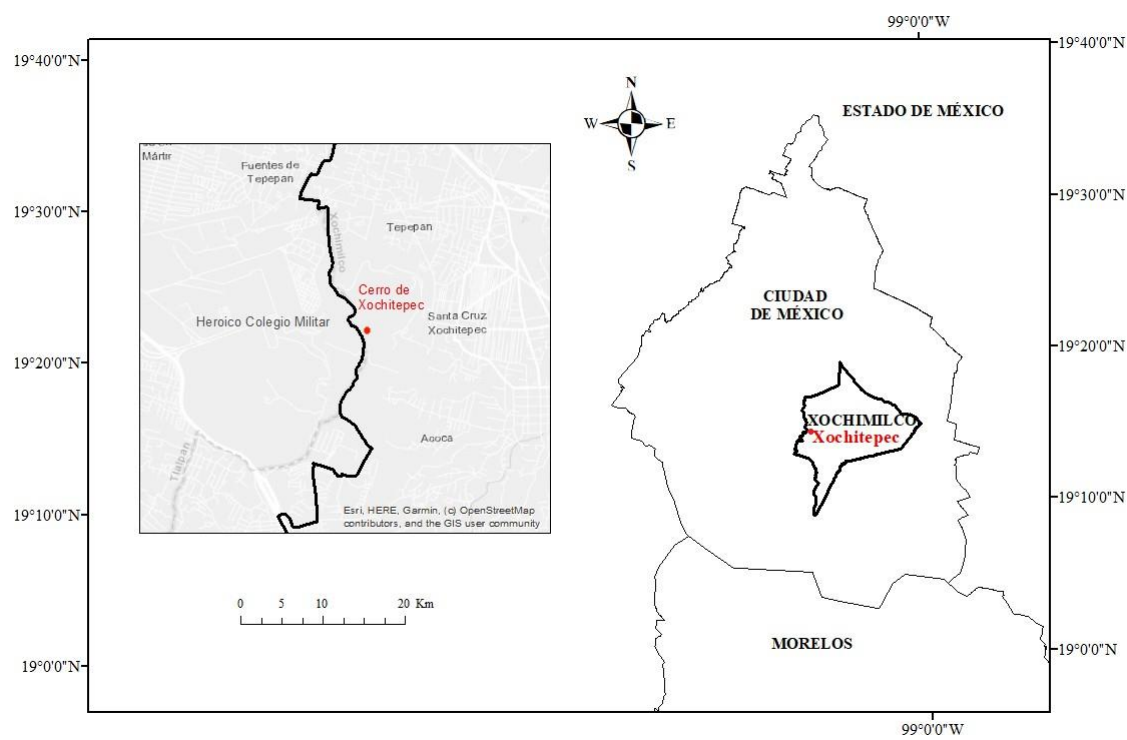


Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio, Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México.



Figura 2. Vista panorámica del sitio de estudio, Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Donde se observa el estrato arenoso, la vegetación herbácea y el bosque reforestado con eucalipto.

7.3. Biología floral

7.3.1. Fenología

Para determinar la fenología floral (inicio, pico y duración) y su relación con las variables ambientales, se establecieron cinco parcelas/especie de 4 m² cada una, en las cuales, se registraron y marcaron los individuos presentes de cada especie de estudio. La densidad de *S. polystachia* fue de 3.25 ind/m², la de *L. nepetifolia* fue de 21.15 ind/m² y para *T. tubiformis* fue de 21.35 ind/m². A partir del establecimiento de las parcelas se realizaron censos fenológicos quincenales de marzo de 2021 a febrero de 2022 para registrar las estructuras reproductivas o fenofases (botones y flores) por individuo (Arroyo-Pérez, 2020).

El análisis fenológico se realizó con el software Oriana 4.0 (Kovach Computing Services, Kovach, 2011). Se realizaron análisis de estadística circular para cada estructura reproductiva con la finalidad de obtener la dirección o el ángulo del vector medio (μ), la longitud del vector medio (r) y el error estándar. El ángulo del vector medio indica la concentración de la frecuencia de los datos alrededor de la fecha media y la longitud del vector medio varía de 0 (los datos están tan dispersos que no es posible describir un ángulo medio) a 1 (todos los datos están concentrados en la misma dirección), valores superiores a 0.5 indican la agrupación de las observaciones alrededor del ángulo medio y si la muestra es uniforme o

agregada. Además, la uniformidad de las observaciones se comprobó a través de pruebas de Rayleigh (Morellato et al., 2010).

Las variables ambientales fueron registradas durante el período de observación a través de un Hobo Data logger (Onset, U12-012, NH, USA) instalado en la zona de estudio. Con estos datos se determinaron la temperatura máxima, mínima y media mensual y la humedad relativa media mensual. Debido a que las variables consideradas presentaban normalidad (Shapiro-Wilks con una $p > 0.05$), se realizaron análisis paramétricos de correlación (Pearson, r) entre estas variables ambientales y la cantidad de estructuras reproductivas producidas mensualmente (Díaz-Segura et al., 2020; Piña, 2007).

7.3.2. Morfología floral

Con la finalidad de describir los rasgos florales, para cada especie se colectaron 20 flores en anthesis de individuos distintos. Las flores fueron trasladadas al Laboratorio de Ecología de Zonas Áridas del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, donde con la ayuda de un vernier y un microscopio estereoscópico (VELAB, VE-S1) se determinaron los parámetros morfológicos que se muestran en la Tabla 2 (Arroyo-Pérez et al., 2019). El número de granos de polen por antera se obtuvo a partir de dos anteras de 10 botones de individuos distintos por especie ($n= 20$ anteras/especie). De manera individual, las anteras se colocaron en un portaobjetos con una gota de agua, se cubrió con un cubreobjetos y se le realizó squash para dispersar los granos de polen. Las muestras se observaron en un microscopio óptico (VELAB, VE-B5) a 40X/0.65 y se cuantificó el número de granos de polen por antera/especie. Para determinar los granos de polen/flor/especie se multiplicó el promedio de granos de polen por antera por el número de estambres en las flores (Matias-Palafox et al., 2017). Se aplicó estadística descriptiva para determinar la mediana y el error estándar de cada parámetro.

Para determinar el tiempo medio de vida de la flor de cada especie, se marcaron botones florales de individuos distintos ($n= 30$ botones/especie). Para cada botón floral, se realizó el seguimiento diario, desde el día de apertura de la corola hasta el día de marchitamiento de la flor.

7.3.3. Morfología de los granos de polen

Con el objetivo de describir la morfología de los granos de polen de las especies de estudio se colectaron flores en pre-antesis de las cuales se extrajeron las anteras (n= 10 flores/especie). El análisis de los granos de polen se realizó en el Laboratorio de Biosistemática de Leguminosas del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana, bajo la asesoría de la M. en C. Angélica Martínez Bernal y la M. en B. María de Montserrat Medina Acosta. El análisis del polen se realizó con las siguientes técnicas:

- Microscopía de luz (ML). Para la obtención de granos de polen, las anteras secas de cada especie se procesaron con la técnica de Acetólisis de Erdtman (1966), modificada por Martínez-Hernández (1970), técnica que consiste en la destrucción de la celulosa y el contenido celular de los granos de polen por medio de ácidos. Las muestras fueron acetolizadas por 13 minutos a una temperatura de 80-85°C, después se tamizó el material con una malla No. 200, abertura de 0.70 mm. Se montaron cuatro y ocho preparaciones de cada muestra (cuatro para *L. nepetifolia*, ocho para *S. polystachia* y ocho para *T. tubiformis*) en laminillas permanentes con gelatina glicerizada, se dejaron secar durante 48 horas a temperatura ambiente, posteriormente se sellaron con esmalte transparente y se observaron bajo el microscopio óptico (ZEISS Axiophot, Germany) a 100X/1.30. A través de estas observaciones se realizaron 25 mediciones por cada carácter palinológico considerado: eje polar, eje ecuatorial, área polar, largo del colpo, ancho del colpo, grosor de la exina, grosor de la nexina, altura y base de las espinas y distancia entre espinas (Láminas I y VI). Para la elaboración de las descripciones palinológicas se utilizó la terminología de Erdtman (1966) y Márquez-Guzmán et al (2016). De cada especie se dejó una muestra palinológica en la Colección palinológica de la UAM-Iztapalapa.
- Microscopía electrónica de barrido (MEB). Se colectaron 10 flores en pre-antesis y se les extrajeron las anteras, colocándolas en tubos Eppendorf con glutaraldehído al 3%. Se hicieron tres lavados con buffer de fosfatos y la post-fijación con tetraóxido de osmio (OsO₄), las muestras se deshidrataron en alcoholes graduales hasta el absoluto (100%), para su desecación al punto crítico, se montaron en porta especímenes y se cubrieron con oro para su observación (Medina-Acosta, 2016).

- Las fotografías fueron tomadas en un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL JSM-5900LV, del Laboratorio de Microscopía Electrónica, de la Ciencia y Tecnología Ambiental (CiTAM), de la UAM-Iztapalapa.

7.3.4. Néctar: volumen, concentración y composición de azúcares

Con el objetivo de determinar el volumen de néctar secretado por flor/especie (flores de *S. polystachia* y *L. nepetifolia*), así como su concentración de azúcares, se marcaron y cubrieron con bolsas de organza flores en pre-antesis para evitar visitas florales y con ello pérdida de néctar. Al final de un día de antesis (15 de noviembre de 2021, entre las 16:00 y las 18:00 horas) se recogieron las flores enteras (n= 33 flores de individuos distintos para *S. polystachia* y 64 flores de individuos distintos para *L. nepetifolia*) y se extrajo el néctar de la base del tubo de la corola utilizando microcapilares de 5 μ L (Drummond Scientific Company, USA) (Chalcoff et al., 2006; Díaz-Segura et al., 2020). La concentración de azúcares contenidas en el néctar por flor (n= 30 flores de individuos distintos/especie) se midió usando un refractómetro de campo (ATAGO N1 Brix 0 ~ 32%, Japan) (Gill y Conway, 1979; Kulloli et al., 2011). Debido a que las variables consideradas no presentaron normalidad (Shapiro-Wilks con una $p < 0.05$), se realizaron análisis no paramétricos de correlación (Spearman, p) entre el volumen y la concentración de azúcares en el néctar.

Para determinar la composición de azúcares en el néctar se marcaron y cubrieron flores en pre-antesis (n= 5 flores de individuos distintos/especie). Se colectaron las muestras de néctar usando una jeringa de 50 μ L (Hamilton 50 μ L, 1705RNR) (18 de noviembre de 2021, de las 9:00 a las 10:00 horas), cada muestra se colocó en un vial de vidrio para cromatografía y se congeló a -40°C hasta su análisis por HPLC (high performance liquid chromatography). Las muestras de néctar fueron analizadas en el Laboratorio de Cromatografía del Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la asesoría de la Química/Técnica Académica Eréndira García Ríos y de la M. en C. Lucía del Carmen Márquez Alonso. Para el análisis, el contenido de los viales (*S. polystachia* 8-9 μ L y *L. nepetifolia* 10 μ L) fue disuelto en 500 μ L de agua de grado HPLC, de esta disolución se inyectó 0.5 μ L al cromatógrafo de líquidos (Agilent 1260 Infinity II, Detector: Evaporativo de dispersión de luz (ELSD) y Columna: Shodex Asahipak NH2P-50 2D 2.0 x 150 mm 5 μ m). En las muestras de *S. polystachia*, el pico de la sacarosa saturaba el detector por lo que fue necesario realizar una segunda disolución, a un volumen final de 1500 μ L, de la cual se inyectaron 0.25 μ L. La

elución de los carbohidratos se llevó a cabo isocráticamente con una fase móvil de acetonitrilo-agua (75:25) a una velocidad de flujo de 0.2 mL/min. Las identidades de los picos en los cromatogramas resultantes se obtuvieron mediante la comparación del tiempo de retención del pico con los estándares de fructosa, glucosa y sacarosa. Para las curvas de calibración, se prepararon cinco disoluciones de fructosa, glucosa y sacarosa de entre 0.5 y 2 mg/mL y se inyectó 0.5 μ L de cada una de las disoluciones por triplicado (Gardener y Gillman, 2001; Movafeghi et al., 2009). La proporción de azúcares (r) se calculó como $r = \text{sacarosa}/(\text{fructosa} + \text{glucosa})$. Baker y Baker (1983) propusieron cuatro categorías de la proporción de azúcares: dominante en sacarosa ($r > 0.999$), rico en sacarosa (0.999 – 0.5), rico en hexosa (0.499 – 0.1) y dominante en hexosa ($r < 0.1$) (Chalcoff et al., 2006).

7.3.5. Compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Con el propósito de identificar los COVs que emiten las flores y el néctar, se marcaron y cubrieron flores en pre-antesis. Se colectaron 200 mg de flores frescas completamente abiertas ($n= 5$ muestras por especie) los días 20 de octubre, 8 y 17 de noviembre de 2021 para *L. nepetifolia*, *T. tubiformis* y *S. polystachia*, respectivamente. Previamente, se habían pesado 30 flores por especie para calcular el promedio de peso por flor y determinar el número de flores que se tenían que colectar para obtener los 200 mg requeridos por muestra. Se colectaron 5 μ L de néctar por flor ($n= 3$ flores de individuos distintos/especie) usando una jeringa de 50 μ L (Hamilton 50 μ L, 1705RNR). Tanto las flores como el néctar se colectaron en viales de vidrio de 40 mL (Agilent Technologies, USA) con tapas condicionadas con septa de politetrafluoroetileno (excelente material antiadherente) (Agilent Technologies PTFE, USA), solo a las muestras de flores se les añadió 5 mL de agua destilada y 75 mg de cloruro de sodio. Los viales fueron cubiertos con papel Parafilm M para asegurar un cierre hermético, se etiquetaron y se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de 4-5°C para su traslado al laboratorio. Las muestras fueron analizadas el mismo día en el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural del Instituto de Química (LANCIC-IQ), bajo la asesoría de la M. en C. Mayra León Santiago. Para extraer los COVs de las flores y del néctar de las especies de estudio, se aplicó la técnica de microextracción en fase sólida del espacio de cabeza (HS-SPME, por sus siglas en inglés headspace solid phase microextraction). Y para la identificación química de los COVs se emplearon dos técnicas analíticas; la cromatografía de gases como método de separación y

la espectrometría de masas como método de identificación de los compuestos (Grajales-Conesa et al., 2011; Raguso y Pellmyr, 1998).

Para lograr la técnica de HS-SPME, se indujo una etapa de pre-equilibrio entre la muestra y el espacio de cabeza, las muestras contenidas en los viales se sometieron a baño maría con agitación y temperatura (45-50°C) constante durante 15 minutos. Posteriormente se expuso la fibra (DVB/Carboxen/PDMS 2cm-50/30 µm marca SUPELCO) en el espacio de cabeza del vial por 3 horas (tiempo de adsorción) (Díaz-Cantón, 2018; Pantaleón-Bautista, 2011; Vázquez, 2018). Una vez transcurrido el tiempo de adsorción, para realizar la cromatografía de gases y la espectrometría, la fibra se retiró del vial y se colocó en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases (Agilent technologies 7890B GC) acoplado a un espectrómetro de masas (Agilent technologies 5977 MSD) para realizar la desorción de los compuestos y su respectivo análisis (Pantaleón-Bautista, 2011). Los espectros de los compuestos obtenidos en el análisis de masas se compararon con bibliotecas digitales y bases de datos para corroborar los datos obtenidos (Estrella-Parra et al., 2016; Pantaleón-Bautista, 2011). La identificación tentativa de los compuestos se basó en una comparación (Match Factor) con la biblioteca de espectros de masas. Mediante el software Agilent MassHunter Qualitative Analysis B. 07.00 se obtuvieron las áreas bajo la curva de los compuestos volátiles, y para determinar la abundancia relativa (%) de dichos compuestos se empleó la siguiente fórmula: (área del compuesto de interés/ suma de las áreas totales obtenidas)*100 (Díaz-Cantón, 2018). Se describieron las características del olor de los COVs de las plantas analizadas con base a la información disponible en línea (El-Sayed, 2023). Las Tablas 8-12 muestran la desviación estándar (DE) de las cinco y tres réplicas para flores y néctar, respectivamente, para cada especie de estudio.

7.3.6. Visitantes florales

Para conocer los visitantes florales de las especies de estudio se establecieron cuatro parcelas de observación permanente/especie de 9 m² cada una, las observaciones fueron realizadas simultáneamente por cuatro observadores. Los visitantes florales fueron monitoreados durante períodos de observación de 1 hora por 30 minutos de descanso, las observaciones se realizaron en un lapso de 4 horas (de las 11:30 a las 15:30 horas) durante dos días de antesis floral (17 y 18 de octubre de 2020). Adicionalmente, se registró la temperatura ambiental a

lo largo del día con un termómetro digital (BENETECH GM300, China). Con tubos Falcon y redes entomológicas se colectaron los artrópodos visitantes que se posaron sobre las flores. Los artrópodos colectados se conservaron en alcohol al 70% para su posterior determinación. La determinación de los artrópodos colectados se realizó utilizando un microscopio estereoscópico y claves taxonómicas (Ayala-Barajas y Meléndez-Ramírez, 2017; Barrientos-Lozano, 2004; Delgado et al., 2000; Goula y Mata, 2015; Michener, 2007), los individuos se determinaron a nivel de familia y morfoespecie. Para determinar el nombre común de las especies de artrópodos colectados se consultó la plataforma de NaturaLista. Los análisis de datos se realizaron con el programa R 4.0.5 (R Core Team, 2021) con los paquetes que se citan para cada caso. Para evaluar la eficiencia de las colectas, se calculó la cobertura de muestreo, es decir, el porcentaje de la comunidad que ha sido detectado durante el muestreo con base en la proporción de los individuos que pertenecen a las especies ya registradas en las muestras (Chao y Jost, 2012; Sanjuan-Trejo et al., 2021). La cobertura de muestreo se obtuvo con el paquete iNEXT (Hsieh et al., 2022). Se compararon la riqueza y diversidad de artrópodos entre las tres especies de estudio mediante los números de Hill (qD sensu Jost, 2006), con 3 órdenes de diversidad $q = 0, 1$ y 2 . La diversidad de orden 0 (0D) es el número de especies observado; la diversidad de orden 1 (1D) se basa en la riqueza y equidad de todas las especies observadas y equivale al exponencial del índice de entropía de ShannonWiener; mientras que la diversidad de orden 2 (2D) es la diversidad de las especies más abundantes y equivale al inverso del índice de dominancia de Simpson (Jost, 2006; Sanjuan-Trejo et al., 2021). Estas medidas se expresan en unidades de número efectivo de especies (Jost, 2006) y se calcularon utilizando el paquete iNEXT (Hsieh et al., 2022). La diversidad de la comunidad de las tres especies se comparó combinando los procesos de interpolación (rarefacción) y extrapolación descritos por Chao et al. (2014), para estandarizar a un tamaño de muestra común. Para comparar estadísticamente la diversidad entre comunidades, se calcularon intervalos de confianza al 95% y se observó el traslape de sus valores a un mismo número de individuos. Por último, se construyó una matriz de interacciones entre los visitantes florales y las tres especies de estudio. Para obtener las estimaciones a nivel de red para la diversidad de interacciones, se utilizó la frecuencia de interacciones planta-visitante floral utilizando la función `networklevel` del paquete `bipartite` (Dormann et al., 2022).

8. RESULTADOS

8.1 Especies de estudio

Salvia polystachia Cav. (Lamiaceae)

Conocida como chíá de campo (Figura 3), es una planta arvense y ruderal, considerada como maleza. Planta herbácea perenne, de 0.5 a 2 m de alto. **Tallos** acanalados ramificados esparcidamente puberulentos con tricomas simples y glándulas sésiles, esféricas. **Hojas** opuestas, pecíolos acanalados de 0.2 a 1.2 cm de largo, con tricomas simples y glándulas sésiles esféricas; láminas ovadas, de 0.8 a 5.2 cm de largo por 0.6 a 3 cm de ancho, ápice acuminado, base obtusa, margen serrado, nervadura pinnada, haz y envés esparcidamente puberulento con tricomas simples y glándulas sésiles, esféricas, amarillentas. **Inflorescencias** terminales y axilares en panículas-espiciiformes compactas, de 0.7 a 4.4 cm de largo, con 2 a 8 flores por nudo, pedicelos de 0.1 a 0.2 cm de largo con tricomas simples y glándulas sésiles esféricas transparentes; **brácteas** lanceoladas de 0.1 a 0.2 cm de largo por 0.05 a 0.1 cm de ancho, ápice acuminado, base cuneada, margen entero, con tricomas simples y glándulas sésiles amarillentas. **Flores** azules o violeta con guías nectaríferas blancas; **cáliz** bilabiado, tubular-campanulado, verde con tonos morados, de 0.4 a 0.5 cm de largo por 0.15 a 0.2 cm de ancho, con tricomas simples y glándulas sésiles esféricas amarillentas, labio superior entero de 0.1 a 0.25 cm de largo, 3-nervado, labio inferior hendido de 0.1 a 0.3 cm de largo, ambos labios con ápice acuminado; **corola** bilabiada de 0.7 a 1.2 cm de largo, tubo floral de 0.5 cm de largo, labio superior 0.3 a 0.7 cm de largo, en forma de capuchón, pubescente con tricomas simples, labio inferior 0.3 a 0.6 cm de largo, reflejo, trilobulado, extendiéndose como una plataforma de aterrizaje; **androceo** dos estambres incluidos con filamentos cortos de 0.5 a 0.7 cm de largo, conectivo alargado formando un balancín o palanca, anteras dorsifijas, extrorsas, dehiscencia longitudinal; **gineceo** estilo exerto, viloso de 0.8 a 1.3 cm de largo, estigma con rama superior refleja más larga que la inferior de 0.1 a 0.2 cm de largo, rama inferior curvada de 0.04 a 0.08 cm de largo, ovario súpero. **Fruto** un esquizocarpo, compuesto por cuatro mericarpos, cada uno con una semilla. Mericarpos 1.0 a 1.2 mm largo, trígonos, lisos o papilados, pardos, glabros.

Destaca la morfología del androceo el cual está compuesto por dos estambres y un tejido conectivo modificado en forma de palanca (palanca estaminal). La parte anterior de la

palanca estaminal tiene dos tecas y generalmente se ubica debajo del labio superior, mientras que la parte posterior de la palanca es estéril y restringe el acceso al néctar (Cultid-Medina et al., 2021). Esto es el resultado de un proceso de evolución involucrado en el desarrollo del “mecanismo de palanca”, el cual consiste en que cada vez que el visitante floral introduzca su cabeza o pico dentro de la corola se presione el tejido basal o la parte posterior de la palanca estaminal para que los estambres bajen y se cargue polen en la cabeza o el pico del visitante floral, y así, aumentar las posibilidades de que los granos de polen sean transferidos al estigma de otra flor (Cultid-Medina et al., 2021; Espino-Espino et al., 2012).

Es nativa de México, se distribuye en 20 estados localizados en el centro de la República Mexicana (Martínez-Gordillo et al., 2019).



Figura 3. *Salvia polystachia*: a) individuos en floración y b) inflorescencia en panícula-espigiforme compacta, en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Octubre 2020.

Leonotis nepetifolia (L.) R. Br. (Lamiaceae)

Es conocida como castillo, casquillito o castillito (Figura 4), es una planta arvense y ruderal, considerada como maleza. Planta herbácea perenne o anual, de hasta 2 m de alto. **Tallos** acanalados escasamente puberulentos, nudos con tricomas alargados. **Hojas** opuestas, pecíolos acanalados de 1.0 a 2.3 cm de largo, puberulentos; láminas ovadas a ovado-deltoides, de 2.9 a 3.5 cm de largo por 2.1 a 2.6 cm de ancho, ápice agudo-acuminado, base

ligeramente cordata, margen crenado, nervadura cladódroma, haz y envés ligeramente puberulentos. **Inflorescencias** terminales, verticilastros densos, muy separados, de 2.0 a 5.7 cm de diámetro, con 18 a 30 flores por nudo, pedúnculos acanalados de 11 a 29 cm, pedicelos de 0.1 a 0.2 cm de largo; **brácteas florales** similares a las hojas de 1.5 a 12.5 cm de largo por 0.2 a 0.5 cm de ancho, ovadas a lanceoladas, pubescentes; **bractéolas** lineares de 0.7 a 1.3 cm de largo por 0.05 a 0.1 cm de ancho, atenuadas con punta rígida, pubescentes. **Flores** anaranjadas; **cáliz** tubular verde glabro paralelinervado de 1.3 a 2.4 cm de largo, con ocho dientes triangulares, el diente dorsal más largo y ancho que los demás; **corola** bilabiada de 2.0 a 3.3 cm de largo, tubular, labio superior de 1.3 a 2.6 cm de largo, densamente pubescente, labio inferior de 0.6 a 0.7 cm de largo, trilobulado glabro; **androceo** con cuatro estambres unidos en la garganta del tubo de 1.1 a 3.1 cm de largo, presentan dehiscencia longitudinal; **gineceo** con estilo glabro de 1.7 a 3.2 cm de largo, ovario súpero. **Fruto** un esquizocarpo, compuesto por cuatro mericarpos, cada uno con una semilla. Mericarpos ardo claro de 0.3 a 0.4 cm de largo.

Es de origen africano, en México es exótica e invasora. Se distribuye en 28 estados de la República Mexicana excepto en Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Guerrero (Martínez-Gordillo et al., 2019; Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2004). En la Ciudad de México se ha observado en las alcaldías Gustavo A. Madero, Coyoacán y Xochimilco (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1985).

Se ha registrado que su época reproductiva es de 7 meses (junio a diciembre), con un pico durante el otoño. Con un sistema de cruce mixto y un sistema de apareamiento xenógamo facultativo. La duración de la antesis es de 36 horas con protoginia (primero ocurre la receptividad de los estigmas antes de la dehiscencia de las anteras) y no presentan hercogamia (Díaz-Segura et al., 2020; Gill y Conway, 1979).



Figura 4. *Leonotis nepetifolia*: a) individuos en floración y b) inflorescencia terminal verticilastro denso, en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Noviembre 2020.

Tithonia tubiformis (Jacq.) Cass. (Asteraceae)

Es conocida comúnmente como acahual, andán, chotol, xotol y gigantón (Figura 5), es una planta arvense y ruderal, considerada como maleza. Planta herbácea anual, de 2.5 a 4 m de alto. **Tallos** cilíndricos ramificados, finamente estriados, indumento veloso en toda su extensión con tricomas hirsutos blanquecinos. **Hojas** alternas aunque las superiores opuestas, pecíolos ensanchados de la base, rara vez son abrazadores, de 1 a 5 cm de largo, densamente pubescentes con tricomas simples; láminas cordiformes, las láminas superiores a menudo lanceoladas, de 5 a 7.5 cm de largo por 3.5 a 4.5 cm de ancho, ápice acuminado, base subcordada a truncada decurrente sobre el pecíolo, margen crenado a dentado, nervadura actinódroma basal (con tres nervios primarios que divergen de la base de la hoja hacia el margen), haz piloso e indumento estrigoso denso en el envés. **Inflorescencias** en cabezuelas terminales, pedúnculos huecos, pubescentes de 1.1 a 10.2 cm de largo; involucro campanulado, brácteas de 15 a 20, oblongas-lanceoladas de 1.2 a 2.5 cm de largo, pilosas; receptáculo convexo, páleas lanceoladas, de 0.7 a 1 cm de largo, cuspidadas y ápice oscuro; **flores liguladas** estériles de 11 a 15, elípticas, amarillas, de 3 a 4 cm de largo; **flores del disco** hermafroditas más de 100, corolas amarillas de 0.6 a 1 cm de largo; **androceo** con cinco estambres unidos, de 0.6 a 1.1 cm de largo; **gineceo** con estilo glabro de 0.4 a 0.8 cm

de largo, estigma con dos lóbulos, de 0.01 a 0.1 cm de largo, ovario ínfero. **Aquenio** oblongo-cuneado, de 0.4 a 0.6 cm de largo, con tricomas largos, rectos y suaves, vilano de 2aristas anchas hasta de 0.35 cm de largo y de 12 a 14 escamas desiguales de 0.3 a 0.12 cm delargo.

Es nativa de México, presentando una amplia distribución, en los estados de: Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Tamaulipas, Nayarit, Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Colima, Michoacán, Ciudad de México, Estado de México, Tlaxcala, Veracruz, Puebla, Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Chiapas. Además, se extiende hasta Honduras y El Salvador (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2004; Espinosa-García y Sarukhán, 1997; Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1990). Se ha registrado que la floración dura aproximadamente seis meses (junio a noviembre) (Vibrans, 2009).



Figura 5. *Tithonia tubiformis*: a) individuos en floración y b) inflorescencia en cabezuela, en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Octubre 2020.

8.2. Biología floral

8.2.1. Fenología

La duración de la fenología floral de *Salvia polystachia* fue de tres meses (septiembre-noviembre). La producción de botones florales comenzó a finales de agosto con un máximo en septiembre; el periodo de floración inicia a finales del verano y en otoño se presenta el pico de floración. El paso de botón a flor ocurre en un periodo de 3-4 días (Tabla 1, Figura 6).

En *Leonotis nepetifolia*, la duración de su floración fue de cinco meses (octubre-febrero). La formación de botones florales comenzó a mediados de octubre con un máximo en noviembre; el periodo de floración ocurre durante el otoño y el invierno, en diciembre se presenta el pico de floración. El paso de botón a flor ocurre en un periodo de 3-4 días (Tabla 1, Figura 6).

Mientras que, la duración de la fenología floral de *Tithonia tubiformis* fue de tres meses (septiembre-noviembre). La producción de botones florales comenzó a principios de septiembre con un máximo en octubre: el periodo de floración es otoñal, en octubre se presenta el pico de floración (Tabla 1, Figura 6).

La producción de botones florales/año en *S. polystachia* fue de 62216 en 20 m²; mientras que para *L. nepetifolia* de 19949 y para *T. tubiformis* de 106007. Por otro lado, la producción de flores/año en *S. polystachia* fue de 18224, (por lo que la producción fue de 911 flores/m²), en *L. nepetifolia* de 10451 (523 flores/m²) y para *T. tubiformis* de 84090 (4204 flores/m²). La probabilidad de paso de botón a flor en *S. polystachia* es de 29.30%, en *L. nepetifolia* de 52.39%, mientras que en *T. tubiformis* de 79.32%.

La época de reproducción de estas especies coincide con los meses en los que se registró mayor humedad en el sitio de estudio (humedad relativa media mensual entre 60 y 85 %) (Figura 7). En el presente estudio no fue posible registrar la producción de frutos debido a dificultades técnicas.

Tabla 1. Estadística circular de la fenología floral (botones y flores) de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022).

| Especies | Fenofases | Ángulo medio (μ) | Fecha media | Error estándar de la media | Vector medio (r) | Prueba de Rayleigh (Z) | Prueba Rayleigh (p) |
|-----------------------|-----------|------------------------|-------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| <i>S. polystachia</i> | Botones | 261.29° | septiembre | 0.040° | 0.985 | 60401.120 | < 1E-12 |
| | Flores | 287.13° | octubre | 0.127° | 0.956 | 16672.592 | < 1E-12 |
| <i>L. nepetifolia</i> | Botones | 328.96° | noviembre | 0.156° | 0.929 | 17200.097 | < 1E-12 |
| | Flores | 339.68° | diciembre | 0.278° | 0.884 | 8159.840 | < 1E-12 |
| <i>T. tubiformis</i> | Botones | 282.12° | octubre | 0.014° | 0.997 | 105311.38 | < 1E-12 |
| | Flores | 282.75° | octubre | 0.031° | 0.988 | 82090.36 | < 1E-12 |

Para las especies de estudio no se encontraron correlaciones entre la producción mensual de botones florales y las variables ambientales del mismo mes o del mes anterior, todas las correlaciones tuvieron valores de $r < 0.5$.

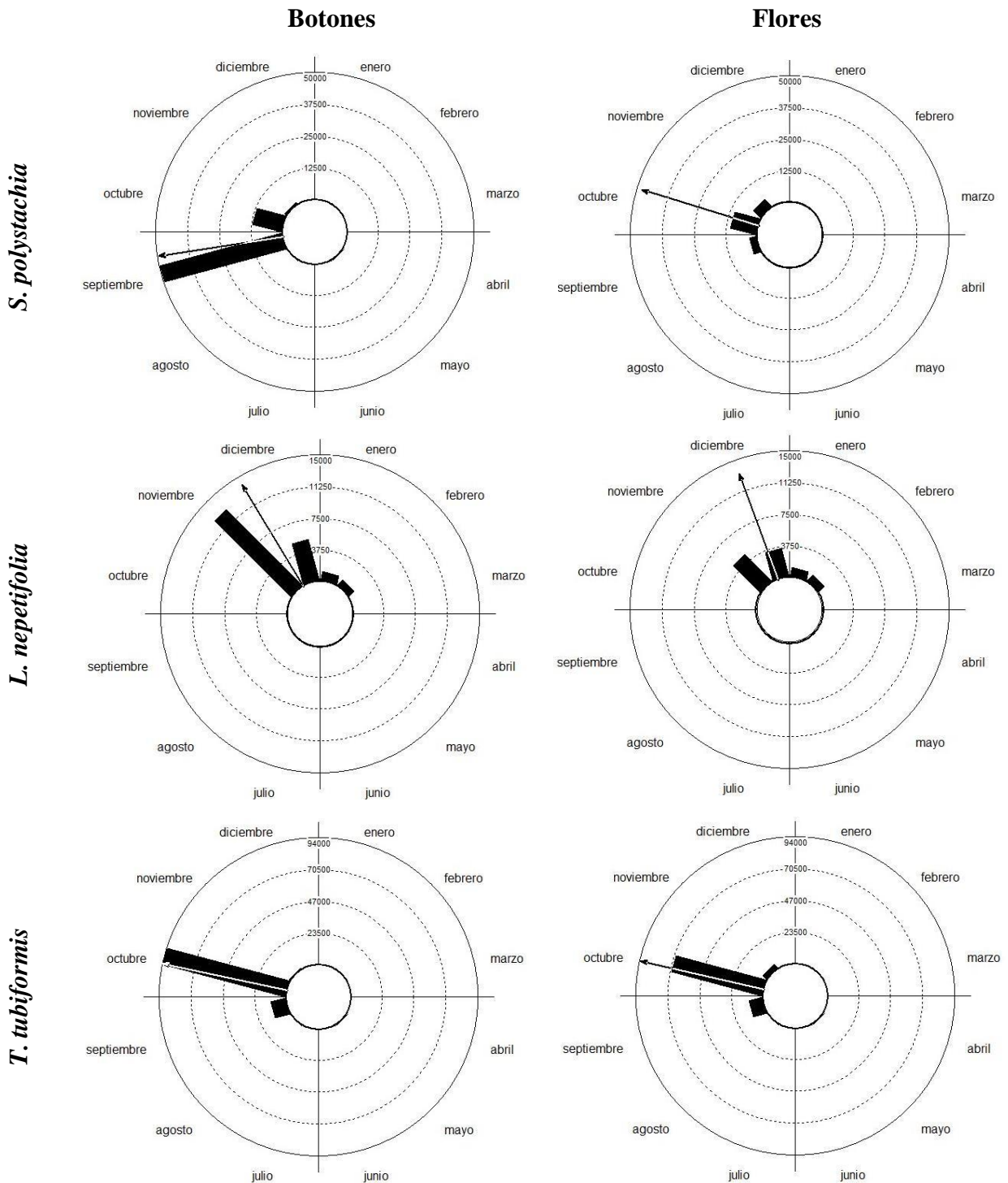
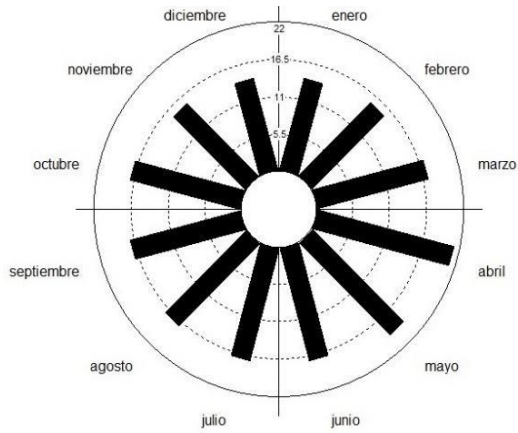


Figura 6. Histogramas circulares de la fenología floral (botones y flores) de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022). Las barras indican la suma de las frecuencias para un determinado mes. La flecha representa el vector r que indica la concentración de la frecuencia alrededor de la fecha media, valores altos de r indican una actividad fenológica agregada.

Temperatura



Humedad relativa

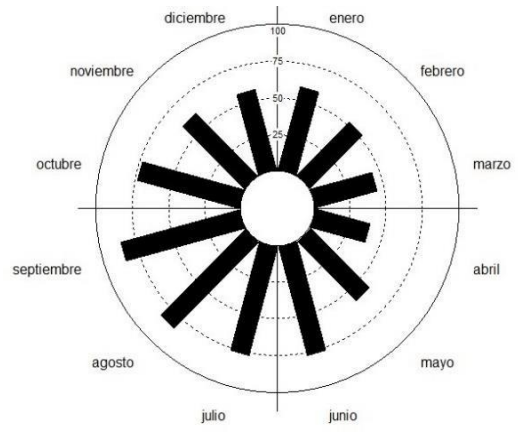


Figura 7. Histogramas circulares de la temperatura y la humedad relativa media mensual en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022).

8.2.2. Morfología floral

Las flores de *Salvia polystachia* están agrupadas en inflorescencias terminales y axilares en panículas-espícoformes, compactas, dentro de la inflorescencia las flores maduran desde la base hacia el ápice (acropétala). Las flores son tubulares con corola bilabiada (labio superior en forma de capuchón y labio inferior trilobulado que funciona como plataforma de aterrizaje para los visitantes florales) son azules o violetas, zigomorfas y hermafroditas, miden alrededor de 1 cm de largo. El número promedio de granos de polen por flor (\pm error estándar) es de 7867.64 (\pm 2372.18). El tiempo medio de vida de la flor es de 3.07 días (\pm 0.12) (Tabla 2, Figura 8).

Las flores de *Leonotis nepetifolia* están agrupadas en inflorescencias de tipo verticilastro, la maduración de las flores dentro de las inflorescencias es del ápice hacia la base (basipétala). Las flores son tubulares con corola bilabiada (el labio inferior es de menor tamaño que el labio superior, no hay plataforma de aterrizaje) son anaranjadas, zigomorfas y hermafroditas, miden alrededor de 3 cm de largo. El número promedio de granos de polen por flor es de 11064.53 (\pm 1909.41). El tiempo medio de vida de la flor es de 3.35 días (\pm 0.07) (Tabla 2, Figura 8).

Las flores de *Tithonia tubiformis* están agrupadas en inflorescencias de tipo cabezuela, dentro de la inflorescencia las flores maduran desde la periferia hacia el centro (centrípeta). Presenta dos tipos de flores: flores liguladas amarillas, estériles y elípticas, miden de 3 a 4 cm de largo (funcionan como plataforma de aterrizaje) y flores del disco, tubulares, amarillas, actinomorfas y hermafroditas, miden alrededor de 1 cm. El número promedio de granos de polen por flor es de 3794.8 (\pm 1062.94) (Tabla 2, Figura 8).

Las flores de las tres especies de estudio no presentaron hercogamia (separación espacial entre las anteras y el estigma). La relación polen/óvulo por flor (Cruden, 1977) fue alta en las tres especies, en *S. polystachia* de 1967: 1, en *L. nepetifolia* de 2766: 1 y en *T. tubiformis* de 3795: 1 (Tabla 2). Esto sugiere que las tres especies son xenógamas obligadas.

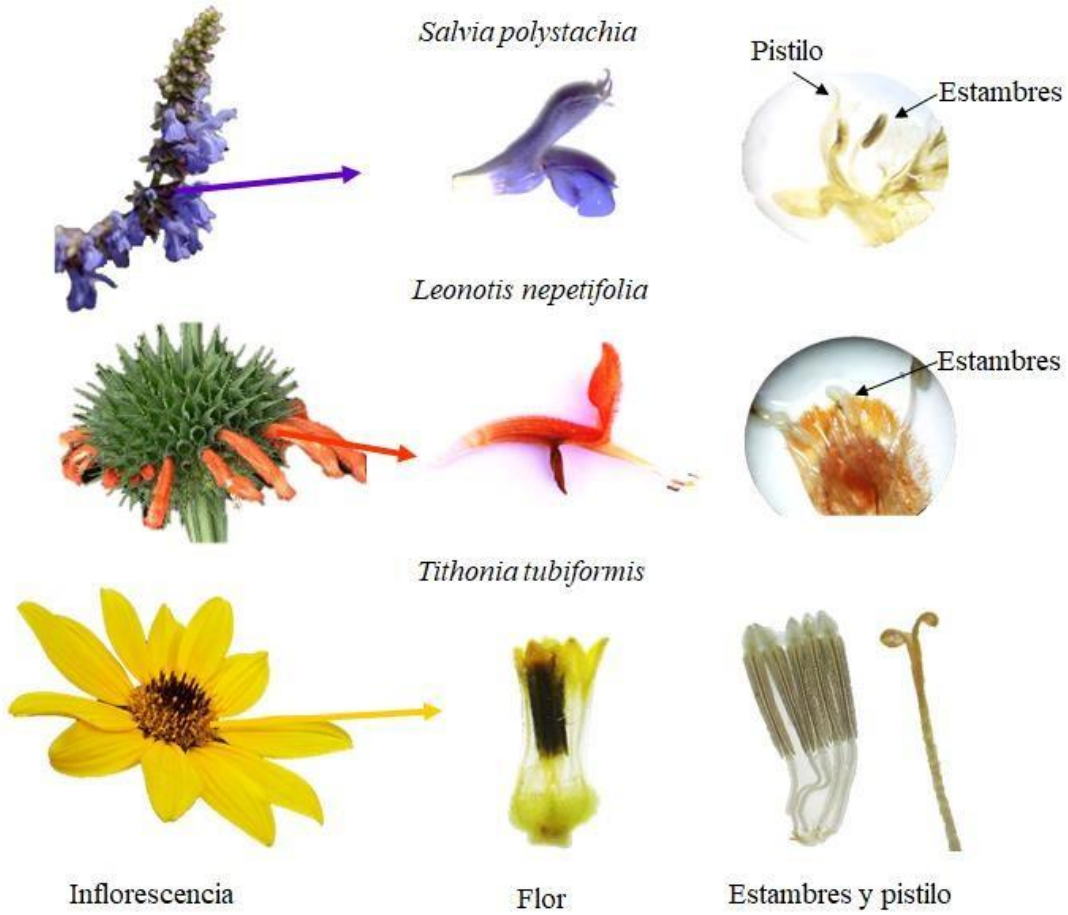


Figura 8. Inflorescencias y estructuras de las flores de las tres especies de estudio.

Tabla 2. Morfología floral de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (n= 20 flores de individuos distintos/especie). Se presenta la media y entre paréntesis el error estándar.

| Características florales | <i>Salvia polystachia</i> | <i>Leonotis nepetifolia</i> | <i>Tithonia tubiformis</i> |
|---|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | cm | cm | cm |
| Longitud de la flor | 1.11(0.02) | 3.02(0.06) | 1.24(0.03) |
| Diámetro de la corola | NA | NA | 0.18(0.02) |
| Longitud del cáliz | 0.47(0.00) | NA | NA |
| Longitud del cáliz hasta el diente superior | NA | 2.22(0.05) | NA |
| Longitud del labio superior de la corola | 0.46(0.02) | 1.66(0.06) | NA |
| Longitud del labio inferior de la corola | 0.45(0.02) | 0.62(0.01) | NA |
| Longitud del estilo | 0.92(0.05) | 2.22(0.11) | 0.56(0.03) |
| Longitud del lóbulo superior del estigma | 0.12(0.00) | 0.37(0.02) | 0.07(0.01) |
| Longitud del lóbulo inferior del estigma | 0.07(0.00) | 0.37(0.02) | 0.05(0.01) |
| Longitud de los estambres | 0.68(0.02) | 1.65(0.14) | 0.73(0.03) |
| Diámetro polar de la cámara nectarial | 0.08(0.00) | 0.11(0.01) | NA |
| Diámetro ecuatorial de la cámara nectarial | 0.04(0.00) | 0.11(0.01) | NA |
| Diámetro polar de la cámara ovárica | 0.07(0.00) | 0.13(0.02) | 0.36(0.02) |
| Diámetro ecuatorial de la cámara ovárica | 0.05(0.00) | 0.13(0.02) | 0.17(0.05) |
| Longitud de los óvulos | 0.02(0.00) | 0.04(0.01) | 0.04(0.01) |
| Diámetro de los óvulos | 0.02(0.00) | 0.03(0.00) | 0.02(0.00) |

Tabla 2. Continúa

| Características florales | <i>Salvia polystachia</i> | <i>Leonotis nepetifolia</i> | <i>Tithonia tubiformis</i> |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | cm | cm | cm |
| Número de dientes del cáliz | 3.00 (0.00) | 8.00(0.00) | NA |
| Número de lóbulos del estigma | 2.00(0.00) | 2.00(0.00) | 2.00(0.00) |
| Número de estambres | 2.00(0.00) | 4.00(0.00) | 5.00(0.00) |
| Número de granos de polen por flor | 7867.64(2372.18) | 11064.53(1909.41) | 3794.8(1062.94) |
| Número de óvulos | 4.00(0.00) | 4.00(0.00) | 1.00(0.00) |

NA: No aplica

8.2.3. Morfología de los granos de polen

A partir de las observaciones en microscopía de luz (ML) se obtuvieron las descripciones de los granos de polen por especie (Lámina I). Los granos de polen de *Salvia polystachia* (muestra palinológica: UAMIZ-530) no están asociados, son mónadas, isopolares y radiosimétricos. El eje polar es de 24.79 μm (20.00-34.00 μm) y el eje ecuatorial de 20.20 μm (15.70-24.00 μm). La relación de los ejes polar/ecuatorial es de 1.22 μm , según la categoría de Erdtman (1966) la forma del grano de polen es subprolata. El tipo de abertura es estefanocolpada o hexacolpada (seis colpos), colpos de 18.00 μm (14.00-22.00 μm) de largo por 0.71 μm (0.50-1.00 μm) de ancho. La exina es birreticulada, heterobrocada, de 1.23 μm (0.80-1.90 μm) de grosor (Tabla 3, Lámina II ML). A través de microscopía electrónica de barrido (MEB) se confirmó que la ornamentación es birreticulada, heterobrocada, con seis aberturas colpadas, la exina presenta clavav como elementos esculturales (Lámina III MEB).

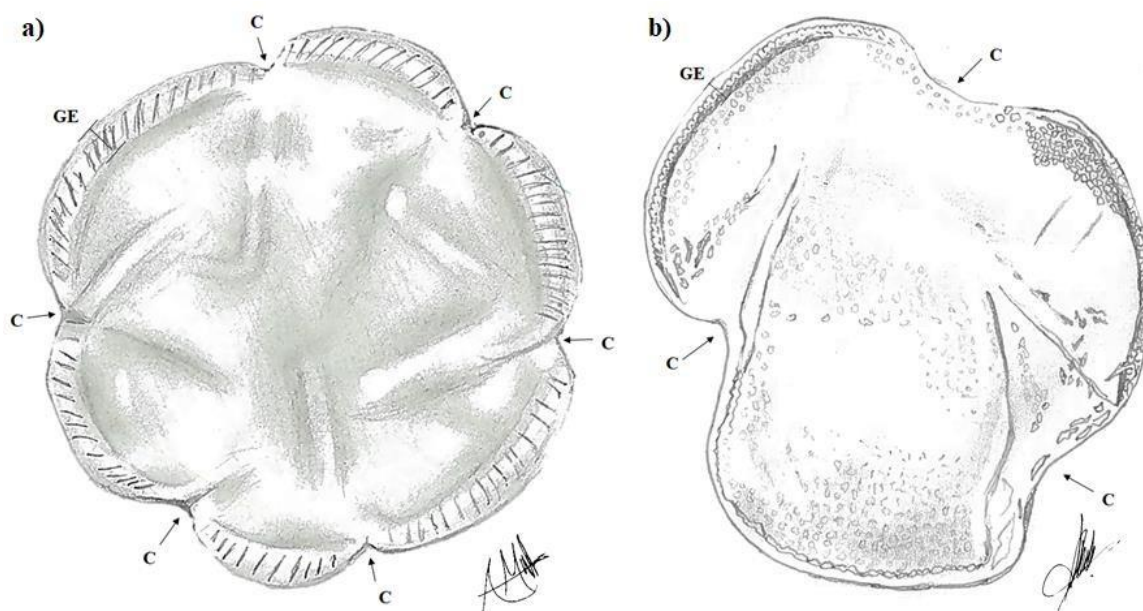


Lámina I. Esquema de los granos de polen de a) *Salvia polystachia* y b) *Leonotis nepetifolia* en vista polar. C: colpo. GE: grosor de la exina (ilustración por Alexandra Mendoza y por José Juan Mendoza Espinosa).

Tabla 3. Caracteres palinológicos medidos en microscopía de luz (ML) de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis*. Se presenta la media (μm).

| Especies | Eje polar | Eje ecuatorial | Grosor exina | Grosor nexina | Abertura | | | | | Espinass | | |
|-----------------------|-----------|----------------|--------------|---------------|----------|-------|-------------------|-------|-------|----------|------|------------------------|
| | | | | | Colpo | | Colpo transversal | | Poros | Largo | Base | Distancia interespinal |
| | | | | | Largo | Ancho | Largo | Ancho | | | | |
| <i>S. polystachia</i> | 24.79 | 20.20 | 1.23 | 0.14 | 18.00 | 0.71 | NP | NP | NP | NP | NP | NP |
| <i>L. nepetifolia</i> | 35.64 | 27.92 | 1.53 | 0.14 | 25.78 | 1.31 | NP | NP | NP | NP | NP | NP |
| <i>T. tubiformis</i> | 30.71 | 30.60 | 2.72 | 1.40 | 15.70 | 1.80 | 8.79 | 1.84 | 2.59 | 6.05 | 3.46 | 3.35 |

NP: no lo presenta.

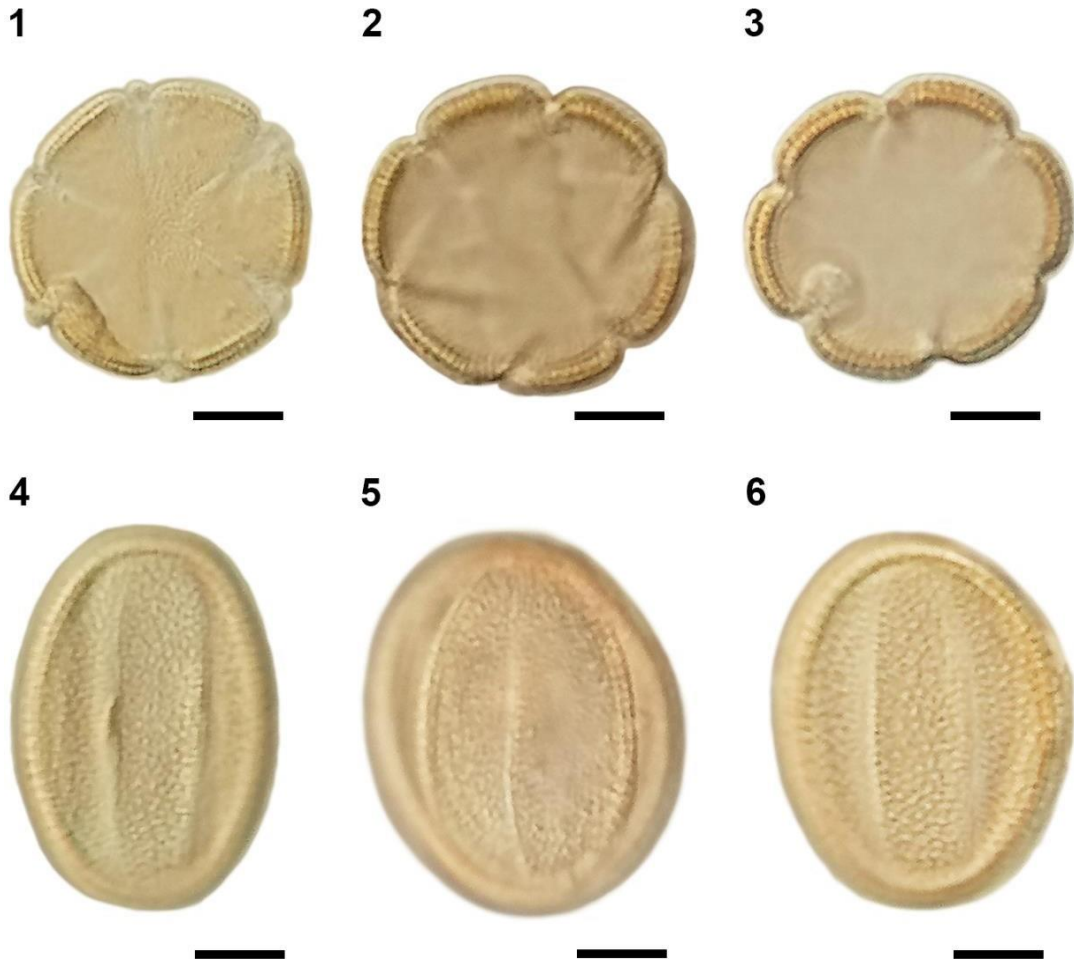


Lámina II. Imágenes de los granos de polen de *Salvia polystachia* obtenidas por microscopía de luz (ML): 1-3) vistas polares; 4-6) vistas ecuatoriales, se observa la ornamentación birreticulada y heterobrocada (escala de 5 μm).

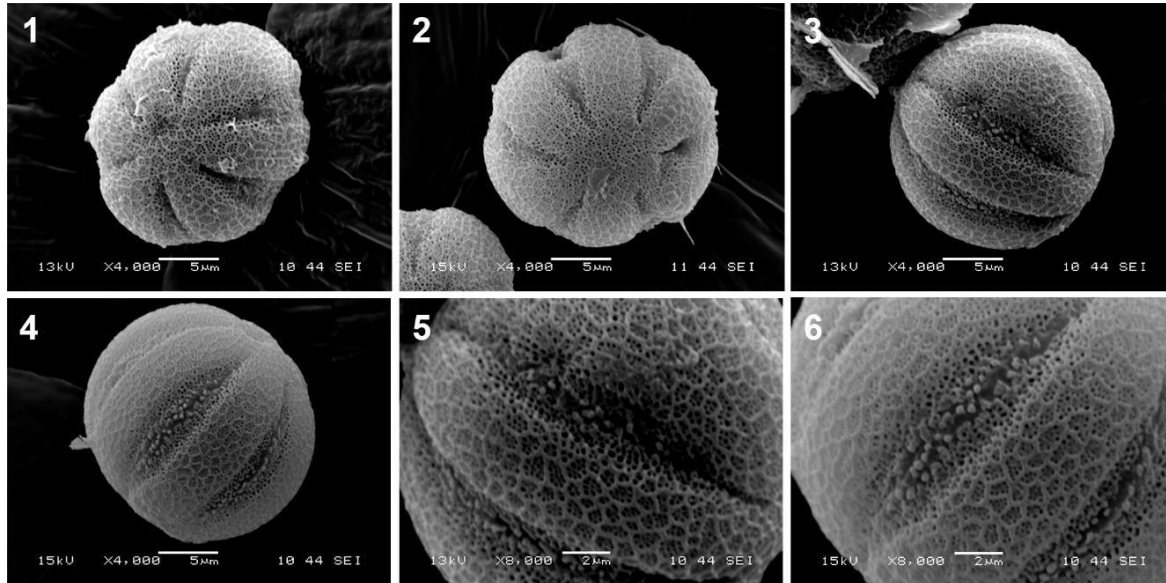


Lámina III. Microfotografías obtenidas a través de microscopía electrónica de barrido (MEB) de granos de polen de *Salvia polystachia*: 1-2) vista polar; 3-4) vista ecuatorial; 5-6) acercamiento donde se observa la ornamentación birreticulada y heterobrocada de la exina. En la abertura colpada se observan clavos como elementos esculturales.

Para *Leonotis nepetifolia* (muestra palinológica: UAMIZ-531) los granos de polen no están asociados, son mónadas, isopolares y radiosimétricos. El eje polar es de 35.64 μm (31.00-41.00 μm) y el eje ecuatorial de 27.92 μm (23.5-33.00 μm). La relación de los ejes polar/ecuatorial es de 1.27 μm , según la categoría de Erdtman (1966) la forma del grano de polen es subprolata. El tipo de abertura es tricolpada (tres colpos), colpos de 25.78 μm (20.00-31.00 μm) de largo por 1.31 μm (1.00-1.09 μm) de ancho. La exina es reticulada de 1.53 μm (1.10-2.00 μm) de grosor (Tabla 3, Lámina IV ML). A través de MEB se confirmó que la ornamentación es reticulada, con tres aberturas colpadas (Lámina V MEB).

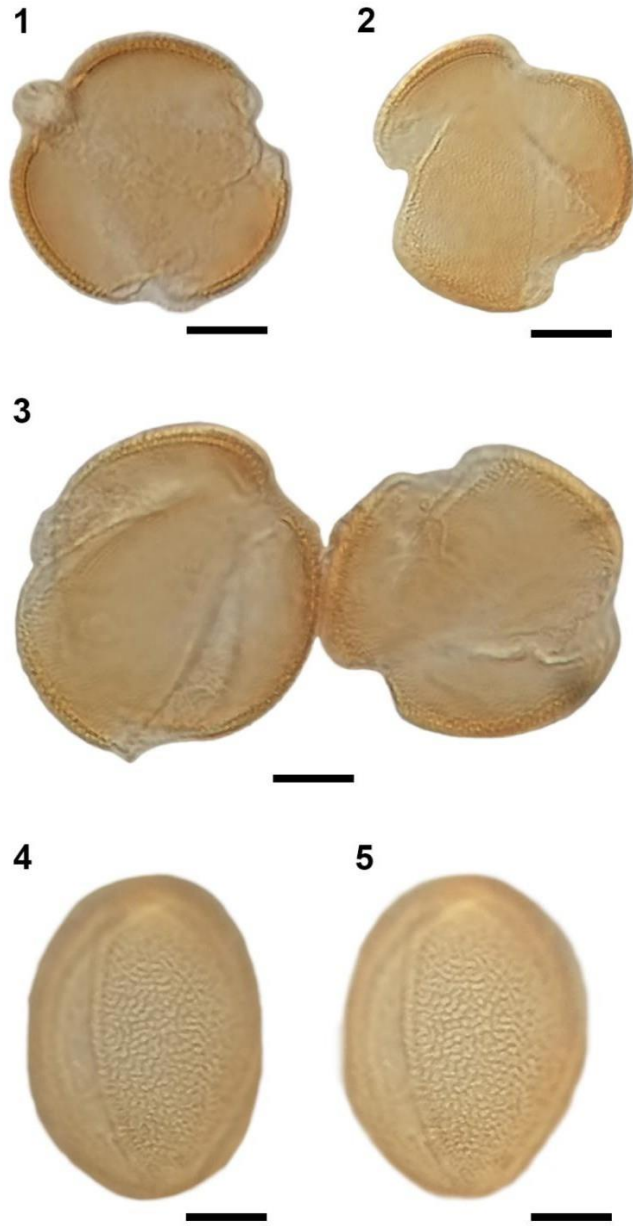


Lámina IV. Imágenes de los granos de polen de *Leonotis nepetifolia* obtenidas por microscopía de luz (ML): 1-3) vistas polares; 4-5) vistas ecuatoriales, se observa la ornamentación de la exina reticulada (escala de 5 μm).

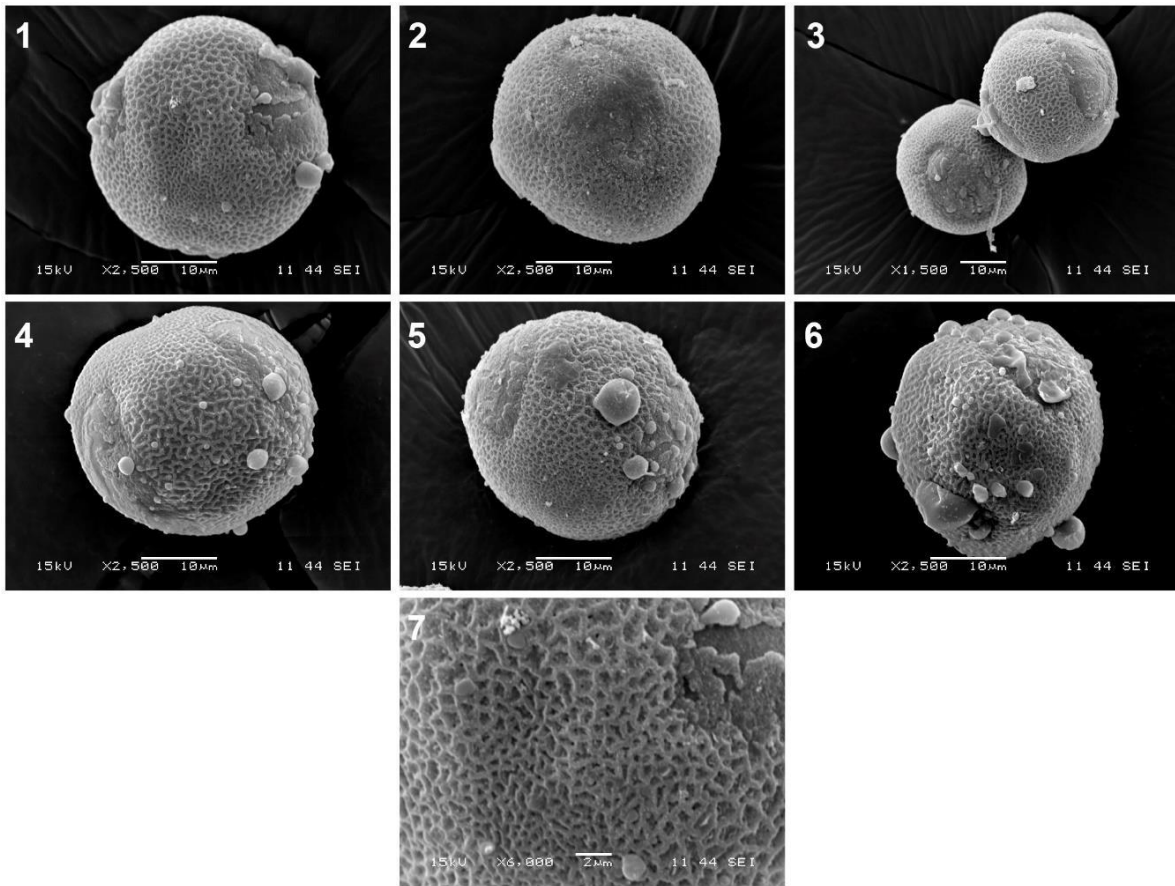


Lámina V. Microfotografías obtenidas a través de microscopía electrónica de barrido (MEB) de granos de polen de *Leonotis nepetifolia*: 1) vista polar; 2-6) vistas ecuatoriales; 7) acercamiento de la ornamentación reticulada.

Los granos de polen *Tithonia tubiformis* (muestra palinológica: UAMIZ-529) no están asociados, son mónadas, isopolares y radiosimétricos (Lámina VI). El eje polar es de 30.71 μm (27.50-34.00 μm) y el eje ecuatorial de 30.60 μm (26.20-35.00 μm). La relación de los ejes polar/ecuatorial es de 1.003 μm , según la categoría de Erdtman (1966) la forma del grano de polen es oblato-esferoidal. El área polar es grande, de 0.66 μm ($d = 19.85 \mu\text{m}$; $D = 29.76 \mu\text{m}$), sin considerar las espinas. El tipo de abertura es tricolporada (tres colpos con tres poros), colpos de 15.70 μm (10.00-19.00 μm) de largo por 1.80 μm (0.70-4.00 μm) de ancho. Colpo transversal lalongado, de 8.79 μm (8.00-15.00 μm) de largo y 1.84 μm (1.20-2.50 μm) de ancho, poros de 2.59 μm (1.20-4.00 μm) de diámetro. La exina es tectada, supraequinada, psilada, de 2.72 μm (2.00-3.80 μm) de grosor, sexina-nexina 2:1; presenta espinas cónicas, largas y puntiagudas, de 6.05 μm (5.00-8.00 μm) de altura y de 3.46 μm (2.00-5.00 μm) de base, distancia inter espinal de 3.35 μm (2.00-4.50 μm) (Tabla 3, Lámina

VII ML). A través de MEB se confirmó que la ornamentación es tectada, supraequinada, presentan espinas con la base microperforada. Los granos de polen presentan tres aberturas compuestas en vista ecuatorial, con un colpo (ectoabertura) y un poro (endoabertura) operculado; el opérculo puede ser cuadrado (Lámina VIII MEB, 3) o estar dividido en dos (Lámina VIII MEB, 4-5).

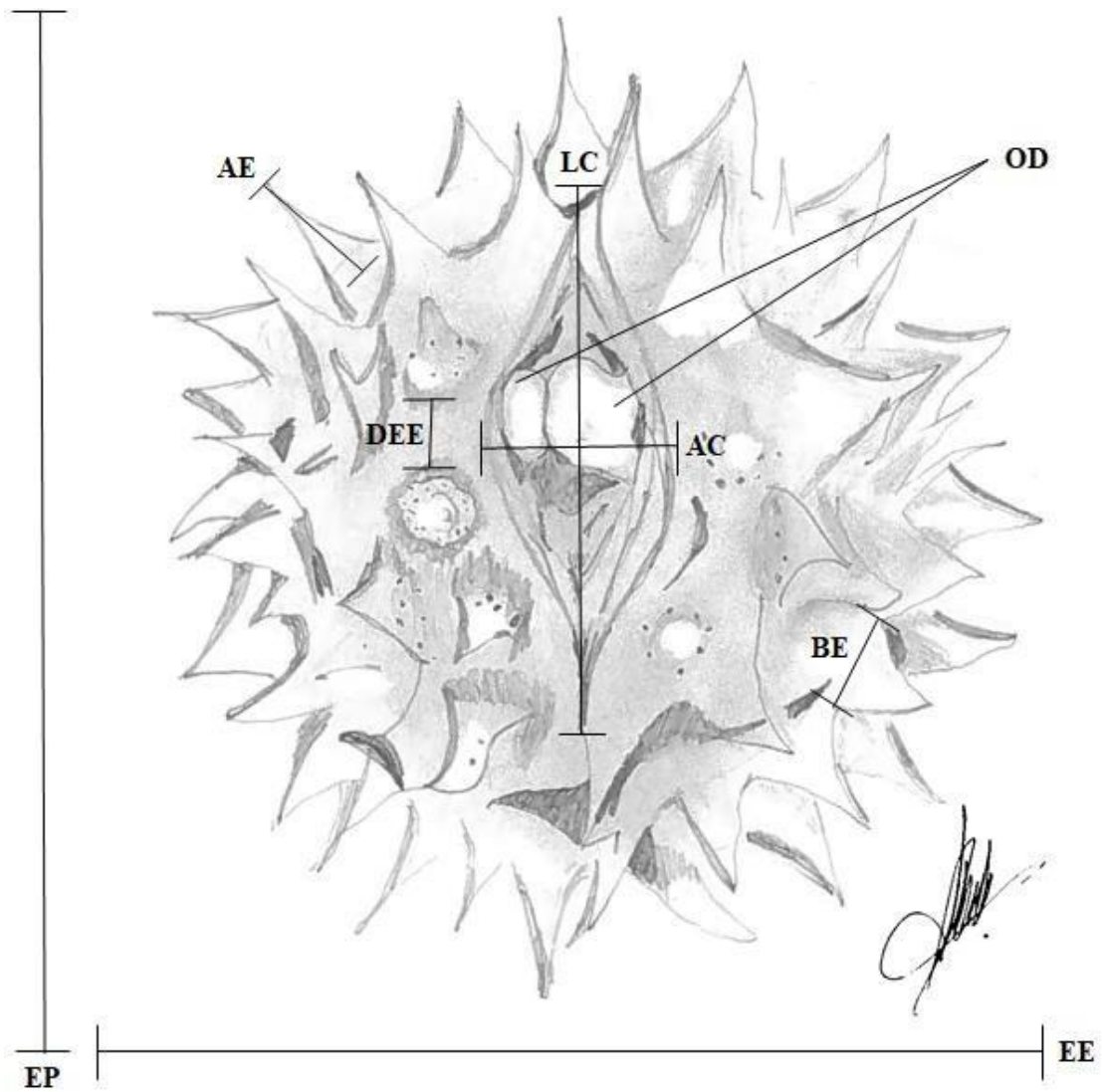


Lámina VI. Esquema del grano de polen de *Tithonia tubiformis* en vista ecuatorial. EP: eje polar. EE: eje ecuatorial. LC: largo del colpo. AC: ancho del colpo. OD: opérculo dividido en dos. AE: altura de las espinas. BE: base de las espinas. DEE: distancia entre espinas (ilustración por José Juan Mendoza Espinosa).

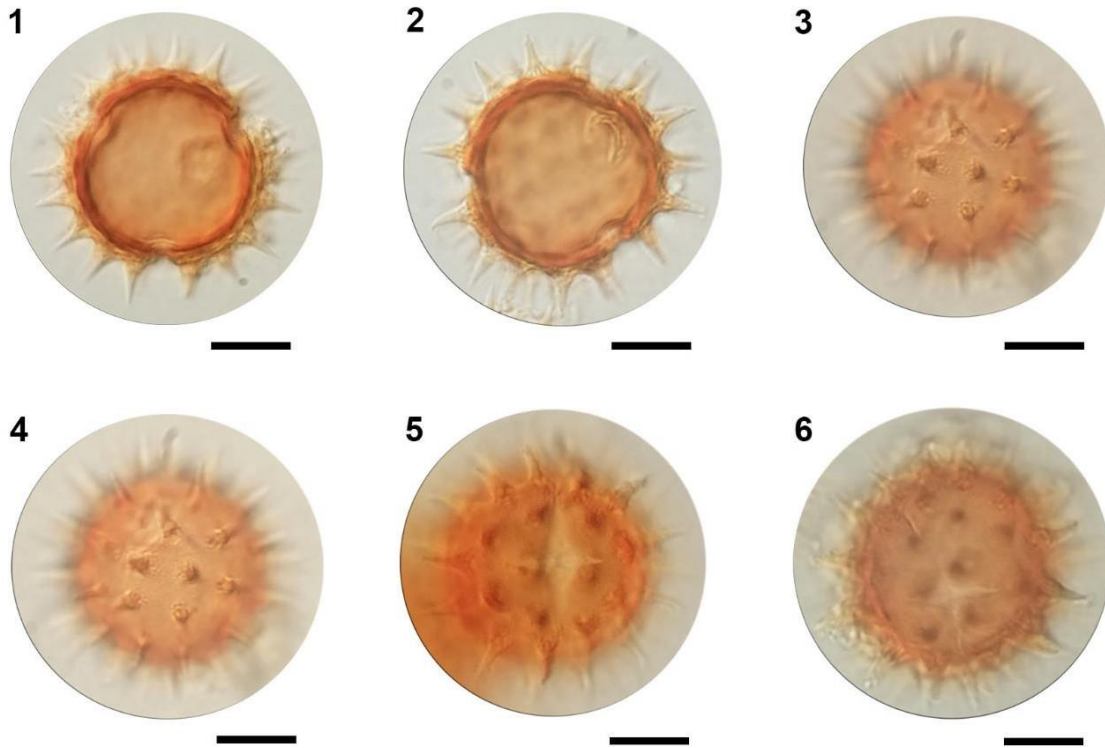


Lámina VII. Imágenes de los granos de polen de *Tithonia tubiformis* obtenidas por microscopía de luz (ML): 1-2) vista polar, corte óptico, se observa el número de aberturas; 3-4) vista lateral, corte supraóptico, con exina tectada supraequinada; 5-6) vista ecuatorial, corte supraóptico, aberturas compuestas (tricolporadas) y colpo transversal (escala de 12 μm).

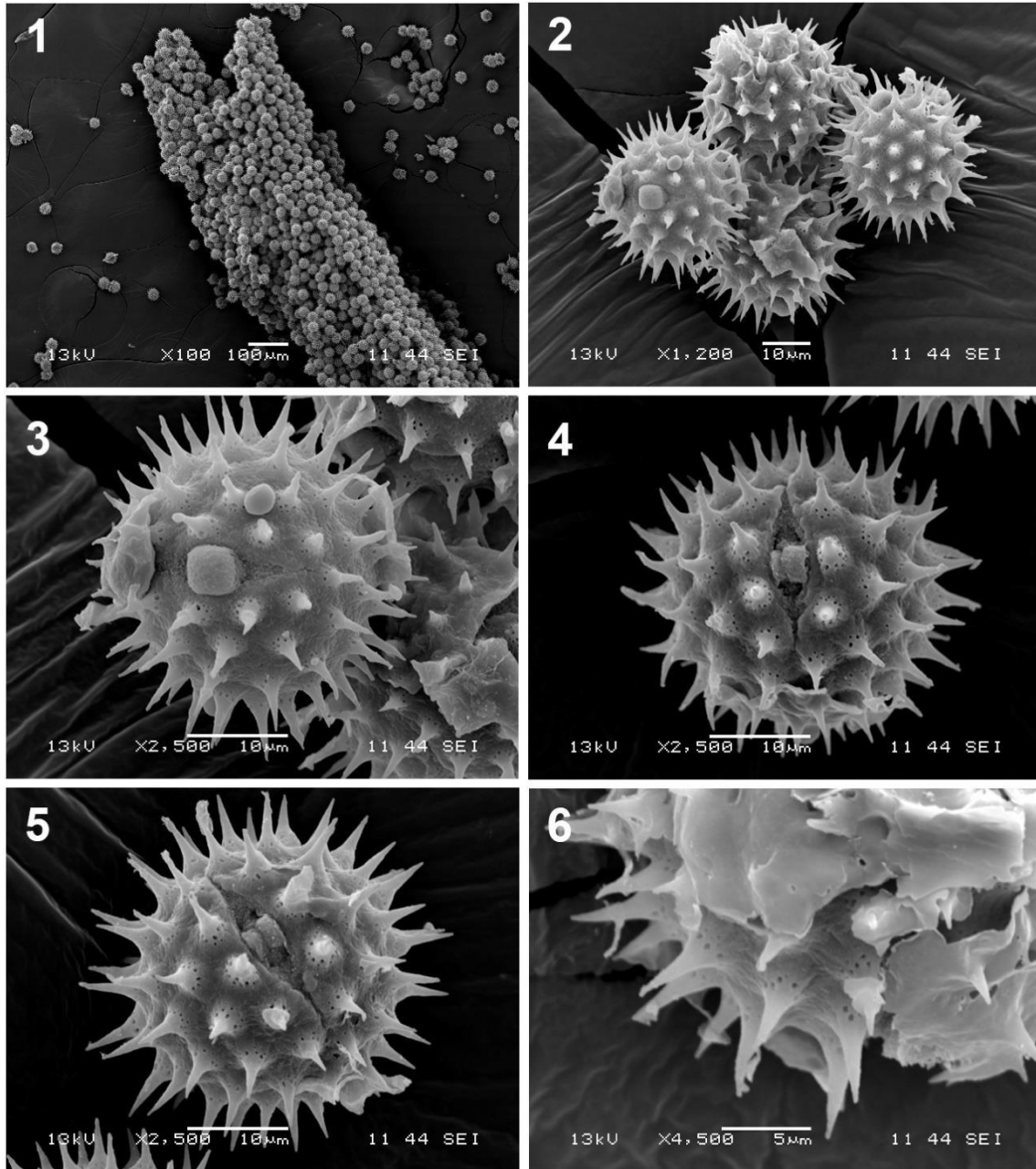


Lámina VIII. Microfotografías obtenidas a través de microscopía electrónica de barrido (MEB) de granos de polen de *Tithonia tubiformis*: 1-2) vista panorámica; 3-5) vista ecuatorial, se observa el detalle de las aberturas compuestas (colporadas); 6) acercamiento de la exina, la base de las espinas presenta microperforaciones.

8.2.4. Néctar: volumen, concentración y composición de azúcares

Durante el estudio, solo se encontraron cantidades medibles de néctar en las flores de *Salvia polystachia* y en *Leonotis nepetifolia*. Después de 24 horas de antesis, en flores que no fueron perturbadas por visitantes florales, el promedio del volumen de néctar por flor (\pm desviación estándar) para *S. polystachia* fue de 0.74 μ L (\pm 0.34), mientras que para *L. nepetifolia* el volumen de néctar por flor es mayor que en *S. polystachia*, de 3.56 μ L (\pm 0.81). Por otro lado, el promedio de la concentración de azúcares en el néctar en equivalentes de sacarosa (\pm desviación estándar) para *S. polystachia* fue de 14.21% (\pm 5.12) y para *L. nepetifolia* fue de 21.1% (\pm 0.66) (Tabla 4).

Tabla 4. Características del néctar de *Salvia polystachia* y *Leonotis nepetifolia*. Se presenta la media y la \pm desviación estándar.

| Especie | Volumen de néctar por flor (μ L) | Concentración de azúcares del néctar (%) |
|-----------------------|---------------------------------------|--|
| <i>S. polystachia</i> | 0.74 \pm 0.34 (n=33) | 14.21 \pm 5.12 (n=30) |
| <i>L. nepetifolia</i> | 3.56 \pm 0.81 (n=64) | 21.1 \pm 0.66 (n=30) |

De acuerdo a la proporción de azúcares propuestas por Baker y Baker (1983) se determinó que el néctar de *S. polystachia* fue dominante en sacarosa 80.07 % (\pm 4.86 DE); ($r = 4.02$), por otro lado el néctar de *L. nepetifolia* presentó mayor concentración de glucosa 37.80 % (\pm 2.61 DE); ($r = 0.40$) (Tabla 5).

Tabla 5. Composición de azúcares en el néctar de *Salvia polystachia* y *Leonotis nepetifolia* (n=5 muestras de néctar de flores distintas para cada especie).

| Especie | Porcentaje de azúcares totales | | | Proporción | | | Categoría Baker y Baker (1983) |
|-----------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------|------|------|---------------------------------------|
| | Sacarosa | Glucosa | Fructosa | G/F | F/G | r | |
| <i>S. polystachia</i> | 80.07 \pm 4.86 | 6.42 \pm 1.35 | 13.51 \pm 3.71 | 0.47 | 2.10 | 4.02 | Dominante en sacarosa ($r > 0.999$) |
| <i>L. nepetifolia</i> | 28.52 \pm 5.70 | 37.80 \pm 2.61 | 33.68 \pm 3.54 | 1.12 | 0.89 | 0.40 | Rico en hexosa ($r = 0.499 - 0.1$) |

G: Glucosa; F: Fructosa; \pm : Desviación estándar; G/F: Proporción glucosa–fructosa; F/G: Proporción fructosa–glucosa; r : Proporción de azúcares.

8.2.5. Compuestos orgánicos volátiles

En las Tablas 6, 7 y 8 se muestran las estructuras químicas y las características olfativas de cada compuesto volátil producido por las flores de las tres especies estudiadas. Además, en las Tablas 9 y 10 se muestran los compuestos orgánicos volátiles emitidos por el néctar de *Salvia polystachia* y de *Leonotis nepetifolia*.

El análisis de los compuestos volátiles revela que las flores de *S. polystachia* emiten principalmente 12 COVs de tipo terpeno, representan el 50% de la abundancia relativa, entre ellos se encuentran el α -pineno (23.41%), β -cariofileno (8.23%), β -pineno (4.49%) y α -terpinoleno (3.99%). El α -pineno (23.41 % en flores y 4.65% en néctar), D-limoneno (2.52% en flores y 0.56% en néctar) y canfeno (0.69% en flores y 0.49% en néctar) son compuestos que se encuentra tanto en sus flores como en el néctar, aunque a diferentes abundancias (Tablas 6 y 9).

En las flores de *L. nepetifolia* se encontraron 6 COVs principales (10.5 % de la abundancia relativa), entre ellos 3-octanona (7.77%) y β -ocimeno (1%). El nonanal (2.11%), octanal (0.54%) y decanal (0.19%) fueron los compuestos que se encontraron en su néctar (Tablas 7 y 10).

Mientras que en las flores de *Tithonia tubiformis* se encontraron principalmente 10 COVs (85% de la abundancia relativa) entre los que se encuentran el 3-careno (69.89% de la abundancia relativa), D-limoneno (4.80%) y γ -terpineno (3.04%) (Tabla 8). Para esta especie los compuestos volátiles del néctar no pudieron ser evaluados debido a que no se encontraron cantidades medibles de néctar.

Algunos de los COVs se comparten entre especies, por ejemplo las flores de las tres especies de estudio emiten β -cariofileno (8.23% en *S. polystachia*, 0.24% en *L. nepetifolia* y 1.25% en *T. tubiformis*) y α -copaeno (23.41% en *S. polystachia*, 0.50% en *L. nepetifolia* y 1.05% en *T. tubiformis*). Las flores de *S. polystachia* y *T. tubiformis* emiten D-limoneno (2.52% y 4.80%, respectivamente), γ -terpineno (0.38% y 3.04%), canfeno (0.69% y 1.87%), α -terpinoleno (3.99% y 1.81%) y α -felandreno (0.42% y 0.76%). Mientras que las flores de *S. polystachia* y *L. nepetifolia* emiten linalool (0.78% y 0.56%, respectivamente) y β -ocimeno (0.93% y 1%).

Tabla 6. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en las flores de *Salvia polystachia*.

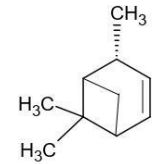
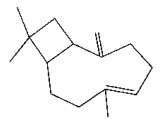
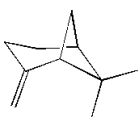
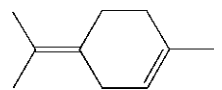
| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|--|--|-------|------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | α -pineno (2,6,6-trimetilbicyclo [3.1.1]hept-2-eno) | 6.54 | 0.01 | 23.41 | 98.52 |  |
| Características del olor: terpeno, afrutado, dulce, amaderado, pino, cítrico, lima, alcanfor | | | | | | |
| 2 | β -cariofileno (1R-(1R,4E,9S)-4,11,11-trimetil-8 metilenobicyclo[7.2.0]undec-4-eno) | 11.75 | 0.00 | 8.23 | 98.70 |  |
| Características del olor: terpeno, mohoso, amaderado, afrutado, dulce | | | | | | |
| 3 | β -pineno (6,6-Dimetil-2-metilenobicyclo[3.1.1]heptano) | 7.10 | 0.00 | 4.49 | 97.84 |  |
| Características del olor: terpeno, mohoso, dulce, pino, amaderado | | | | | | |
| 4 | α -terpinoleno (1-Metil-4-(1-metiletilideno)-ciclohexeno) | 8.38 | 0.00 | 3.99 | 98.82 |  |
| Características del olor: terpeno, amaderado, afrutado, dulce, pino, anís | | | | | | |

Tabla 6. Continúa


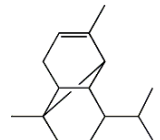
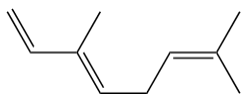
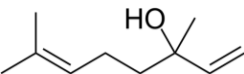
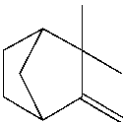
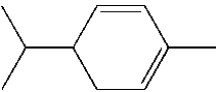
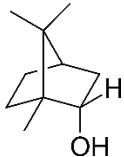
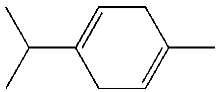
| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|--|--|-----------|-----------|--------------------------------|--|---|
| 5 | D-limoneno (1-Metil-4-(1-metiletenilo)-ciclohexeno) | 7.69 | 0.00 | 2.52 | 96.53 |  |
| Características del olor: terpeno, regaliz, cítrico, etéreo, afrutado | | | | | | |
| 6 | α -copaeno (8-Isopropil-1,3-dimetil-triciclo[4.4.0.0(2,7)]dec-3-eno) | 11.32 | 0.00 | 1.87 | 98.18 |  |
| Características del olor: terpeno, amaderado, terroso | | | | | | |
| 7 | β -ocimeno (3,7-dimetil-1,3,6-octatrieno) | 7.87 | 0.00 | 0.93 | 98.12 |  |
| Características del olor: terpeno, herbal, suave, cítrico, floral, dulce, naranja, limón | | | | | | |
| 8 | Linalool (2,6-dimetil-2,7-octadien-6-ol) | 8.46 | 0.01 | 0.78 | 93.10 |  |
| Características del olor: terpeno, dulce, floral, limón, perejil, lavanda, afrutado | | | | | | |

Tabla 6. Continúa

| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|---|--|-----------|-----------|--------------------------------|--|---|
| 9 | Canfeno (2,2-dimetil-3-metilenbicyclo[2.2.1]heptano) | 6.73 | 0.01 | 0.69 | 97.34 |  |
| Características del olor: terpeno, dulce, afrutado, alcanfor, pino, aceitoso, herbal | | | | | | |
| 10 | α -felandreno (5-Isopropil-2-metilciclohexa-1,3-dieno) | 7.40 | 0.01 | 0.42 | 93.02 |  |
| Características del olor: terpeno, afrutado, mentolado, herbal, cítrico, lima, pimienta, enebro | | | | | | |
| 11 | Borneol (1,7,7-trimetilbicyclo[2.2.1]heptan-2-ol) | 10.43 | 0.00 | 0.39 | 96.36 |  |
| Características del olor: terpeno, alcanfor, mohoso | | | | | | |
| 12 | γ -terpineno (1-Isopropil-4-metil-ciclohexa-1,4-dieno) | 8.03 | 0.00 | 0.38 | 96.68 |  |
| Características del olor: terpeno, cítrico, herbal, afrutado, dulce | | | | | | |

RT: tiempo de retención/minutos; DE: desviación estándar.

Tabla 7. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en las flores de *Leonotis nepetifolia*.

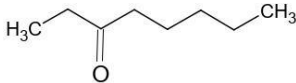
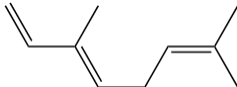
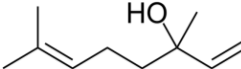
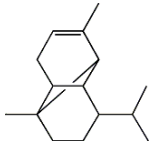
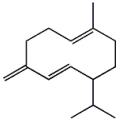
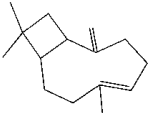
| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|--|--|-------|------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | 3-octanona | 7.14 | 0.01 | 7.77 | 98.58 |  |
| Características del olor: acre | | | | | | |
| 2 | β -ocimeno (3,7-dimetil-1,3,6-octatrieno) | 7.87 | 0.00 | 1.00 | 98.60 |  |
| Características del olor: terpeno, herbal, suave, cítrico, floral, dulce, naranja, limón | | | | | | |
| 3 | Linalool (2,6-dimetil-2,7-octadien-6-ol) | 8.46 | 0.00 | 0.56 | 90.63 |  |
| Características del olor: terpeno, dulce, floral, limón, perejil, lavanda, afrutado | | | | | | |
| 4 | α -copaeno (8-Isopropil-1,3-dimetil-triciclo[4.4.0.0(2,7)]dec-3-eno) | 11.32 | 0.00 | 0.50 | 89.24 |  |
| Características del olor: terpeno, amaderado, terroso | | | | | | |

Tabla 7. Continúa

| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|---|--|-----------|-----------|--------------------------------|--|---|
| 5 | Germacreno D ((E,E)-1-metil-5-metileno-8-(1-metiletil)-1,6-ciclododecadieno) | 12.27 | 0.00 | 0.39 | 93.70 |  |
| Características del olor: aceitoso, amaderado | | | | | | |
| 6 | β -cariofileno (1R-(1R,4E,9S)-4,11,11-trimetil-8-metilenobiciclo[7.2.0]undec-4-eno) | 11.75 | 0.01 | 0.24 | 89.93 |  |
| Características del olor: terpeno, mohoso, amaderado, afrutado, dulce | | | | | | |

RT: tiempo de retención/minutos; DE: desviación estándar.

Tabla 8. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en las flores de *Tithonia tubiformis*.

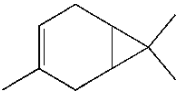

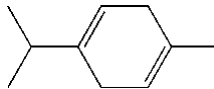
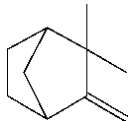
| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|--|--|-----------|-----------|--------------------------------|--|---|
| 1 | 3-careno (3,7,7-Trimetilbicyclo[4.1.0]hept-3-eno) | 6.65 | 0.02 | 69.89 | 82.35 |  |
| Características del olor: cítrico, en la cascara de la naranja | | | | | | |
| 2 | D-limoneno (1-Metil-4-(1-metiletenilo)-ciclohexeno) | 7.73 | 0.02 | 4.80 | 92.24 |  |
| Características del olor: terpeno, regaliz, cítrico, etéreo, afrutado | | | | | | |
| 3 | γ -terpineno (1-Isopropil-4-metil-ciclohexa-1,4-dieno) | 8.10 | 0.02 | 3.04 | 98.84 |  |
| Características del olor: terpeno, cítrico, herbal, afrutado, dulce | | | | | | |
| 4 | Canfeno (2,2-dimetil-3-metilenbicyclo[2.2.1]heptano) | 6.79 | 0.03 | 1.87 | 98.18 |  |
| Características del olor: terpeno, dulce, afrutado, alcanfor, pino, aceitoso, herbal | | | | | | |

Tabla 8. Continúa

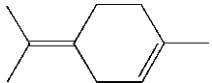
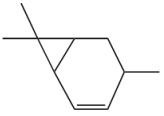
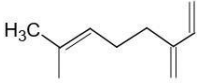
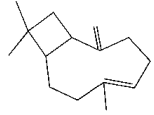
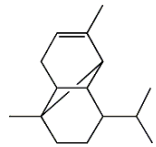
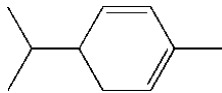
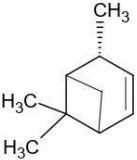
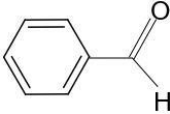
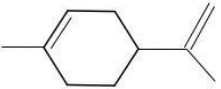
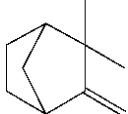
| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|---|--|-----------|-----------|--------------------------------|--|---|
| 5 | α -terpinoleno (1-Metil-4-(1-metiletilideno)-ciclohexeno) | 7.98 | 0.45 | 1.81 | 97.68 |  |
| Características del olor: terpeno, amaderado, afrutado, dulce, pino, anís | | | | | | |
| 6 | 4-careno (4,7,7-Trimetilbicyclo[4.1.0]hept-2-eno) | 7.56 | 0.00 | 1.63 | 96.90 |  |
| Características del olor: dulce | | | | | | |
| 7 | Mirceno (7-Metil-3-metileno-1,6-octadieno) | 7.23 | 0.02 | 1.48 | 95.02 |  |
| Características del olor: terpeno, dulce, afrutado, etéreo, limón | | | | | | |
| 8 | β -cariofileno (1R-(1R,4E,9S)-4,11,11-trimetil-8 metilenobicyclo[7.2.0]undec-4-eno) | 11.76 | 0.00 | 1.25 | 99.40 |  |
| Características del olor: terpeno, mohoso, amaderado, afrutado, dulce | | | | | | |

Tabla 8. Continúa

| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|---|--|-----------|-----------|--------------------------------|--|---|
| 9 | α -copaeno (8-Isopropil-1,3-dimetil-triciclo[4.4.0.0(2,7)]dec-3-eno) | 11.33 | 0.01 | 1.05 | 98.40 |  |
| Características del olor: terpeno, amaderado, terroso | | | | | | |
| 10 | α -felandreno (5-Isopropil-2-metilciclohexa-1,3-dieno) | 7.42 | 0.01 | 0.76 | 96.80 |  |
| Características del olor: terpeno, afrutado, mentolado, herbal, cítrico, lima, pimienta, enebro | | | | | | |

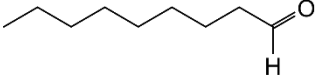
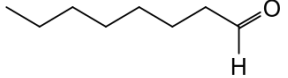
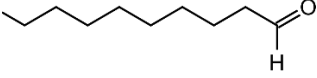
RT: tiempo de retención/minutos; DE: desviación estándar.

Tabla 9. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en el néctar de *Salvia polystachia*.

| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|--|--|------|------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | α -pineno (2,6,6- trimetilbiciclo [3.1.1]hept-2-eno) | 6.53 | 0.00 | 4.65 | 98.10 |  |
| Características del olor: terpeno, afrutado, dulce, amaderado, pino, cítrico, lima, alcanfor | | | | | | |
| 2 | Benzaldehído | 7.87 | 0.00 | 4.11 | 96.43 |  |
| Características del olor: almendra, amaderado | | | | | | |
| 3 | D-Limoneno (1-Metil-4-(1-metiletenilo)-ciclohexeno) | 7.69 | 0.01 | 0.56 | 89.60 |  |
| Características del olor: terpeno, regaliz, cítrico, etéreo, afrutado | | | | | | |
| 4 | Canfeno (2,2-dimetil-3-metilenbiciclo[2.2.1]heptano) | 6.74 | 0.00 | 0.49 | 89.25 |  |
| Características del olor: terpeno, dulce, afrutado, alcanfor, pino, aceitoso, herbal | | | | | | |

RT: tiempo de retención/minutos; DE: desviación estándar.

Tabla 10. Compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en el néctar de *Leonotis nepetifolia*.

| | Nombre químico | RT | DE | Abundancia relativa (%) | Match Factor (factor de coincidencia) | Estructura química |
|---|----------------|------|------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | Nonanal | 8.49 | 0.00 | 2.11 | 94.57 |  |
| Características del olor: afrutado, floral, dulce, lavanda, cítrico | | | | | | |
| 2 | Octanal | 7.35 | 0.01 | 0.54 | 92.27 |  |
| Características del olor: cítrico, floral, afrutado | | | | | | |
| 3 | Decanal | 9.56 | 0.00 | 0.19 | 88.37 |  |
| Características del olor: dulce, floral, herbal | | | | | | |

RT: tiempo de retención/minutos; DE: desviación estándar.

8.2.6. Visitantes florales

Para las tres especies de estudio, en los dos días de observación (17 y 18 de octubre de 2020) se colectaron un total de 678 individuos, pertenecientes a 81 morfoespecies y a siete órdenes (Tabla 11). Al orden Hymenoptera pertenecen 344 individuos (50.74 %) de los cuales 321 corresponden a *Apis mellifera*, Coleoptera 148 individuos (21.83 %), Hemiptera 114 individuos (16.81%), Orthoptera 31 individuos (4.57 %), Diptera 12 individuos (1.77 %), Lepidoptera 12 individuos (1.77%), Mesostigmata un individuo (0.15 %) y no se lograron determinar 16 individuos (2.36 %) (Figura 9).

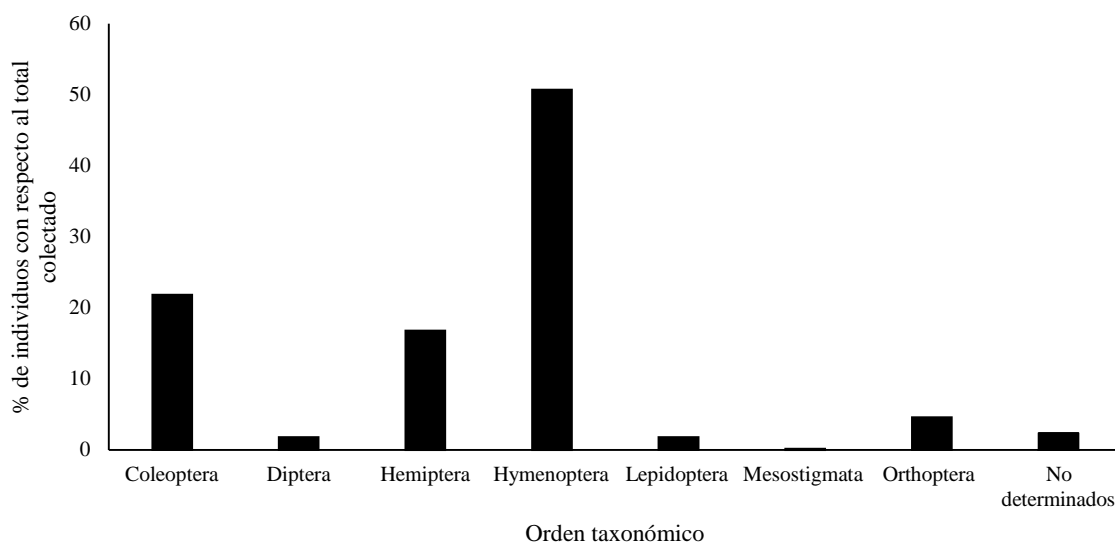


Figura 9. Porcentaje de artrópodos visitantes de las flores de las tres especies de estudio por orden taxonómico (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020).

Tabla 11. Morfoespecies de los visitantes florales de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2020).

| Morfoespecie | Orden | Nombre científico | Nombre común |
|--------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| sp 2 | Coleoptera | <i>Euphoria basalis</i> | Mayate de la calabaza |
| sp 4 | Coleoptera | Coleoptera | Escarabajos y parientes |
| sp 10 | Coleoptera | <i>Ochraethes dimidiaticornis</i> | Escarabajo |
| sp 11 | Coleoptera | <i>Acmaeodera flavomarginata</i> | Barrenador de borde amarillo |
| sp 12 | Coleoptera | <i>Ochraethes</i> sp. | Escarabajo |
| sp 13 | Coleoptera | <i>Chauliognathus</i> sp. | Escarabajos soldado |
| sp 19 | Coleoptera | Cerambycinae (subfamilia) | Escarabajos antenas largas |
| sp 23 | Coleoptera | Alticini (tribu) | Flea beetles |
| sp 25 | Coleoptera | Mordellidae (familia) | Tumbling flower beetles |
| sp 27 | Coleoptera | Cerambycidae (familia) | Escarabajos de antenas largas |
| sp 30 | Coleoptera | Melolonthinae (subfamilia) | June beetles |
| sp 31 | Coleoptera | Dasytinae (subfamilia) | Escarabajos |
| sp 42 | Coleoptera | <i>Cycloneda emarginata</i> | Catarina sin manchas |
| sp 51 | Coleoptera | <i>Hippodamia</i> sp. | Catarinas de cuerpo alargado |
| sp 55 | Coleoptera | Coccinellidae (familia) | Catarinas y mariquitas |
| sp 60 | Coleoptera | Epitragini (tribu) | Es una tribu de escarabajos oscuros |
| sp 64 | Coleoptera | Nitidulidae (familia) | Escarabajos de la savia |
| sp 66 | Coleoptera | <i>Pseudolinda quinquepunctata</i> | Escarabajos |
| sp 68 | Coleoptera | Curculionidae (superfamilia) | Gorgojos y picudos |
| sp 5 | Diptera | Diptera | Moscas y mosquitos |
| sp 15 | Diptera | <i>Spilomyia</i> sp. | Hornet flies (moscas del avipón) |
| sp 28 | Diptera | Syrphidae (familia) | Moscas de las flores |
| sp 39 | Diptera | Diptera | Moscas y mosquitos |
| sp 56 | Diptera | Brachycera (suborden) | Brachyceran Flies |
| sp 62 | Diptera | Muscidae (familia) | Moscas domésticas |

Tabla 11. Continúa

| Morfoespecie | Orden | Nombre científico | Nombre común |
|--------------|-------------|-----------------------------|---|
| sp 63 | Diptera | Brachycera (suborden) | Brachyceran Flies |
| sp 81 | Diptera | <i>Neotephritis</i> sp. | |
| sp 3 | Hemiptera | Heteroptera | Chinches y parientes |
| sp 7 | Hemiptera | Lygaeinae (subfamilia) | Chinches de los algodocillos |
| sp 9 | Hemiptera | <i>Orius</i> sp. | Hemípteros heterópteros |
| sp 16 | Hemiptera | Aphidomorpha (infraorden) | Pulgones y aliados |
| sp 21 | Hemiptera | Cicadellidae (familia) | Chicharritas |
| sp 24 | Hemiptera | Clase Insecta | |
| sp 35 | Hemiptera | <i>Ascra</i> sp. | |
| sp 37 | Hemiptera | Pentatomidae (familia) | Chinches hediondas |
| sp 43 | Hemiptera | Heteroptera | Chinches y parientes |
| sp 48 | Hemiptera | <i>Agonoscelis puberula</i> | Chinche africana |
| sp 49 | Hemiptera | <i>Cosmopepla</i> sp. | Chinche |
| sp 53 | Hemiptera | Heteroptera | Chinches y parientes |
| sp 54 | Hemiptera | Heteroptera | Chinches y parientes |
| sp 58 | Hemiptera | Hemiptera | Chinches, cigarras y parientes |
| sp 65 | Hemiptera | Aphididae (familia) | Pulgones |
| sp 1 | Hymenoptera | <i>Apis mellifera</i> | Abeja melífera europea |
| sp 8 | Hymenoptera | Aculeata (infraorden) | Abejas, hormigas, avispa punzantes |
| sp 14 | Hymenoptera | Hymenoptera | Abejas, avispa, hormigas y parientes |
| sp 18 | Hymenoptera | Hymenoptera | Abejas, avispa, hormigas y parientes |
| sp 20 | Hymenoptera | Clase Insecta | |
| sp 22 | Hymenoptera | Hymenoptera | Abejas, avispa, hormigas y parientes |
| sp 26 | Hymenoptera | | |
| sp 29 | Hymenoptera | Hymenoptera | Abejas, avispa y hormigas |
| sp 36 | Hymenoptera | Anthophila | Abejas |
| sp 38 | Hymenoptera | <i>Xylocopa</i> sp. | Abejorros carpinteros |
| sp 41 | Hymenoptera | Formicidae | Hormigas |
| sp 44 | Hymenoptera | Scoliidae (familia) | Avispa escólicas |
| sp 45 | Hymenoptera | <i>Xylocopa</i> sp. | Abejorros carpinteros |
| sp 46 | Hymenoptera | <i>Pygodasis ephippium</i> | Avispa caza escarabajos de bandas anaranjadas |

Tabla 11. Continúa

| Morfoespecie | Orden | Nombre científico | Nombre común |
|--------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| sp 47 | Hymenoptera | <i>Pygodasis</i> sp. | Avispa |
| sp 50 | Hymenoptera | Vespidae (familia) | Avispones y avispas del papel |
| sp 59 | Hymenoptera | Formicidae | Hormigas |
| sp 69 | Lepidoptera | <i>Leptophobia aripa elodia</i> | Mariposa blanca del mastuerzo |
| sp 70 | Lepidoptera | <i>Leptotes marina</i> | Mariposa azul marina |
| sp 71 | Lepidoptera | <i>Danaus gilippus</i> | Mariposa reina |
| sp 72 | Lepidoptera | <i>Zerene cesonia cesonia</i> | Mariposa cara de perro sureña |
| sp 73 | Lepidoptera | <i>Dione vanillae</i> | Mariposa pasionaria motas blancas |
| sp 32 | Mesostigmata | Mesostigmata | Gamásidos |
| sp 6 | Orthoptera | <i>Sphenarium</i> sp. | Chapulines llamativos |
| sp 74 | Orthoptera | | |
| sp 75 | Orthoptera | | |
| sp 76 | Orthoptera | <i>Sphenarium purpurascens</i> | Chapulín llamativo |
| sp 77 | Orthoptera | <i>Melanoplus differentialis</i> | Chapulín diferencial |
| sp 78 | Orthoptera | <i>Sphenarium</i> sp. | Chapulines llamativos |
| sp 79 | Orthoptera | Caelifera (suborden) | Chapulines o langostas |
| sp 80 | Orthoptera | | |
| sp 33 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |
| sp 34 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |
| sp 17 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |
| sp 40 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |
| sp 52 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |
| sp 57 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |
| sp 61 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |
| sp 67 | Clase Insecta | Clase Insecta | Insectos |

Para *Salvia polystachia*, en total se colectaron 180 individuos de visitantes florales, pertenecientes a 28 morfoespecies y a seis órdenes. El orden Hymenoptera fue el que presentó la mayor riqueza con 9 morfoespecies (32.14 %), seguido del orden Hemiptera con 5 morfoespecies (17.86 %) (Figura 10). Además, el orden Hymenoptera fue el que presentó mayor abundancia con 136 individuos (75.55 %) (Figura 11).

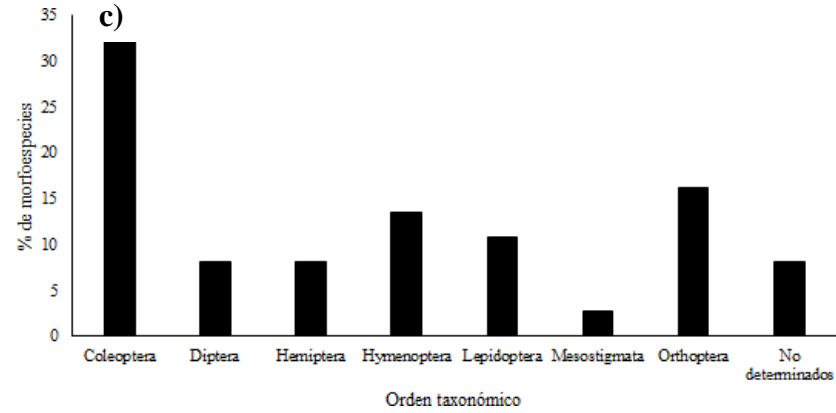
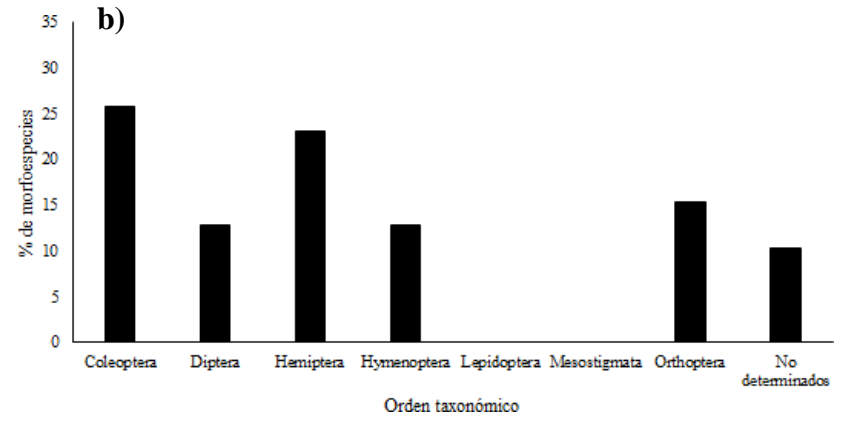
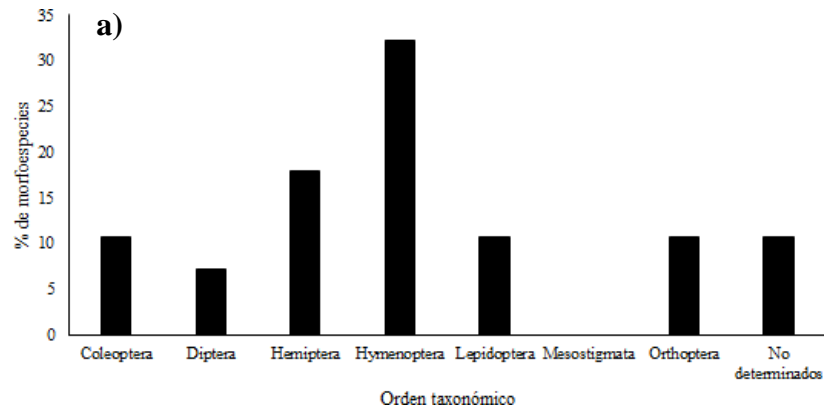


Figura 10. Porcentaje de morfoespecies de visitantes florales por orden taxonómico (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020): a) *Salvia polystachia*, b) *Leonotis nepetifolia* y c) *Tithonia tubiformis*.

Por otro lado, para *Leonotis nepetifolia* se colectaron 302 ejemplares de visitantes florales, pertenecientes a 39 morfoespecies y a cinco órdenes. Los órdenes Coleoptera y Hemiptera fueron los que presentaron mayor riqueza de morfoespecies con 10 (25.64 %) y nueve (23.08 %) morfoespecies respectivamente (Figura 10). Mientras que el orden Coleoptera fue el que presentó mayor abundancia con 94 individuos (31.13 %), seguido de los órdenes Hemiptera e Hymenoptera con 93 individuos (30.79 %) cada uno (Figura 11).

Mientras que para *Tithonia tubiformis*, se colectaron 196 individuos de visitantes florales, pertenecientes a 37 morfoespecies y a siete órdenes. El orden Coleoptera fue el que presentó mayor riqueza de morfoespecies (12, 32.43 %), seguido del orden Orthoptera con seis morfoespecies (16.22 %) (Figura 10). Mientras que el orden Hymenoptera fue el que presentó la mayor abundancia con 115 individuos (58.67 %), seguido del orden Coleoptera con 36 individuos (18.37 %) (Figura 11).

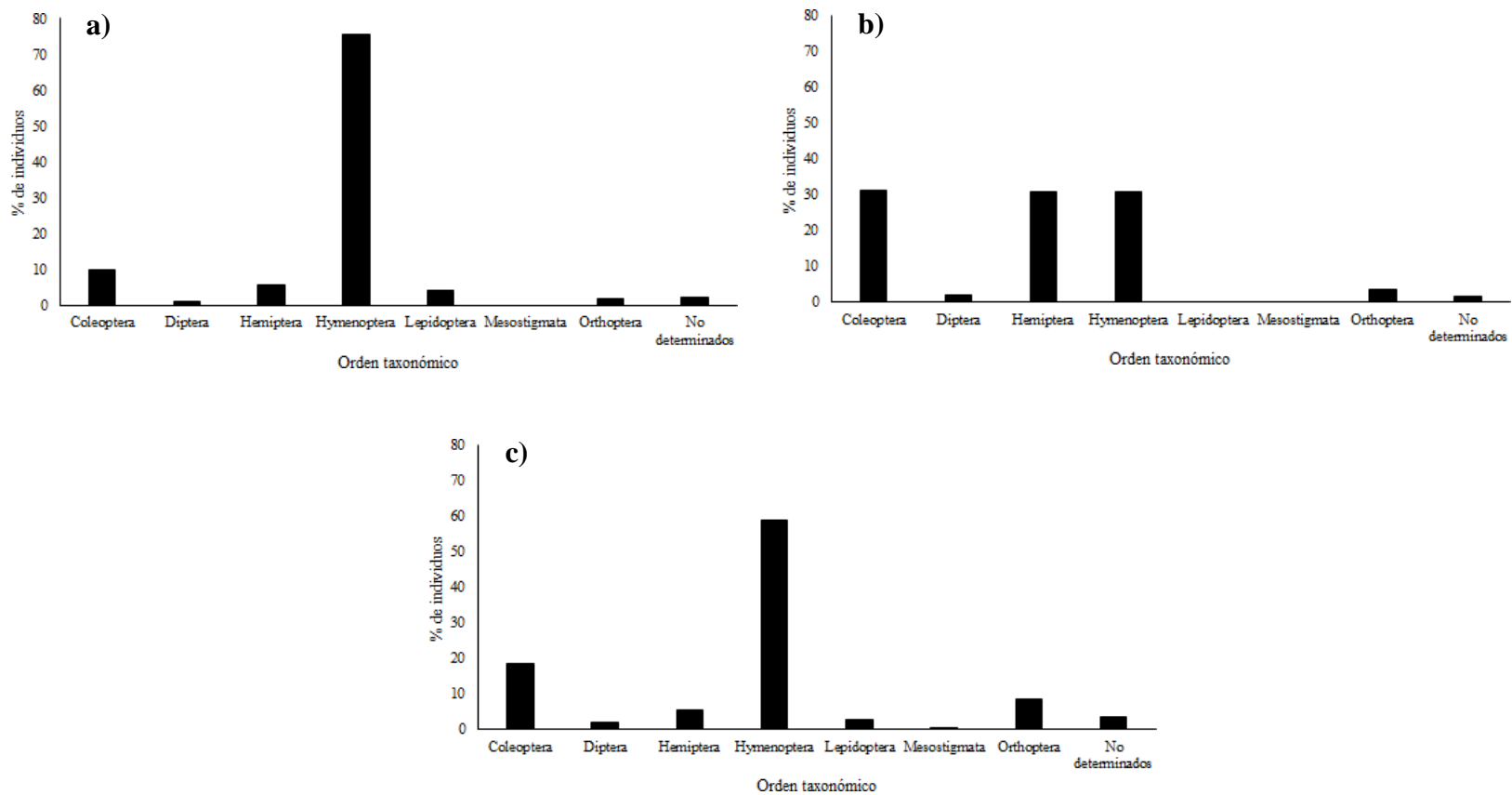


Figura 11. Porcentaje de visitantes florales por orden taxonómico (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020): a) *Salvia polystachia*, b) *Leonotis nepetifolia* y c) *Tithonia tubiformis*.

La especie de estudio con mayor riqueza de morfoespecies de visitantes florales fue *L. nepetifolia* (39 morfoespecies, cobertura de muestreo 56.52 %), seguida de *T. tubiformis* (37 morfoespecies, cobertura de muestreo 54.41 %) y *S. polystachia* (28 morfoespecies, cobertura de muestreo 42.42 %). Sin embargo, al comparar la riqueza de morfoespecies (0D , diversidad de orden $q = 0$) entre las tres especies extrapolando los valores de las especies con menor abundancia para estandarizar a un mismo número de individuos (360), se observó que no existen diferencias significativas. Las curvas de interpolación y extrapolación indican que, entre las tres especies de estudio no hay diferencia en cuanto a la riqueza y diversidad de visitantes florales en el orden $q = 0$ ($0D$), ya que el área de interpolación y del intervalo de confianza se encuentran totalmente sobrepuestas (Figura 12).

La comunidad de visitantes florales de *L. nepetifolia* fue la que presentó la mayor cantidad de morfoespecies comunes ($q_1 = 9.51$), seguida por la de *T. tubiformis* ($q_1 = 8.35$) y por último la comunidad de visitantes florales de *S. polystachia* fue la que presentó la menor cantidad de morfoespecies comunes ($q_1 = 4.10$). El gráfico 1D (diversidad de orden $q = 1$) indica que existen diferencias significativas en el número de morfoespecies de visitantes florales igualmente comunes entre *S. polystachia* y las otras dos especies de estudio. Sin embargo, no existen diferencias significativas entre *L. nepetifolia* y *T. tubiformis* debido a que muestran solapamiento (Figura 12).

Por otro lado, los valores del orden q_2 muestran que la comunidad de visitantes florales de *L. nepetifolia* fue la que presentó la mayor cantidad de morfoespecies dominantes (5.42), seguida de *T. tubiformis* (3.08) y por último de *S. polystachia* (1.94). Además, el gráfico 2D (diversidad de orden $q = 2$) indica que el número efectivo de morfoespecies dominantes (o muy abundantes) en las tres especies de estudio muestran diferencias significativas entre ellas, ya que no se encuentran solapadas, sugiriendo que la estructura de la comunidad de visitantes florales entre estas plantas puede variar o ser diferente (Figura 12).

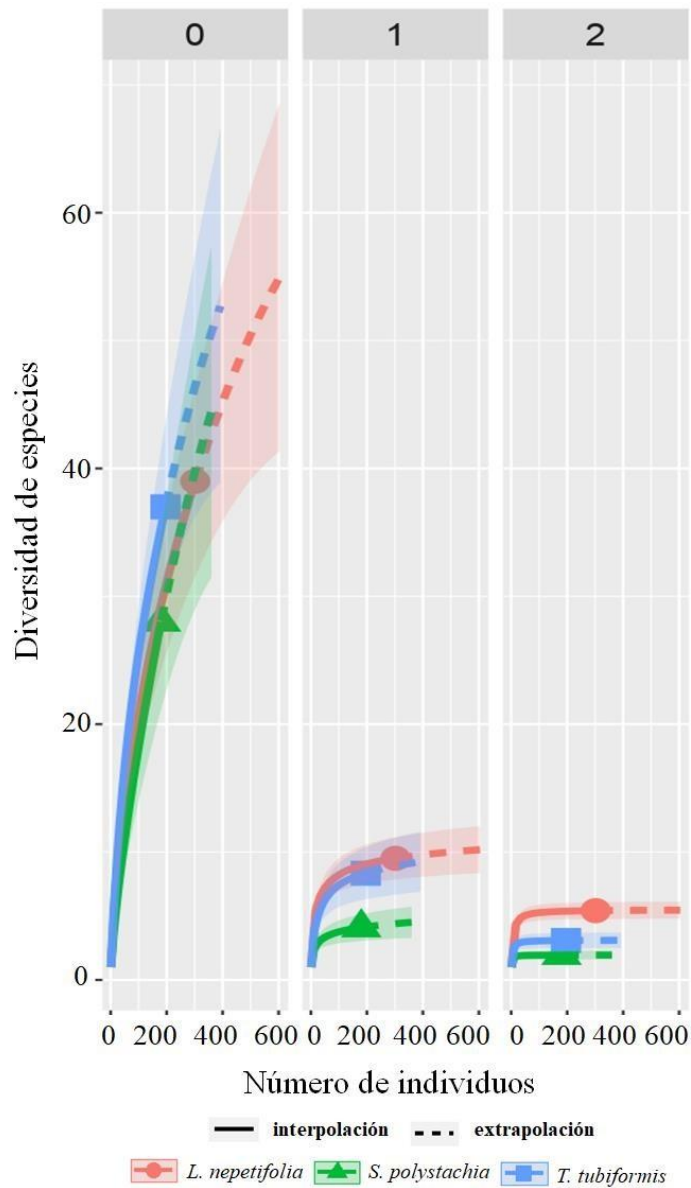


Figura 12. Curvas de interpolación y extrapolación de la diversidad de artrópodos visitantes de las flores de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* recolectados en 2020. Las líneas continuas indican el área de interpolación para cada una de las especies de estudio, el símbolo marca la diversidad observada y las líneas punteadas indican el área de extrapolación. El área sombreada en cada curva de las tres especies representa el intervalo inferior y superior con un 95% de confianza. El gráfico indicado con 0 es ⁰D: riqueza de morfoespecies, el 1 es ¹D: número de morfoespecies igualmente frecuentes y 2 es ²D: número de morfoespecies muy abundantes.

La red de interacción planta-visitante floral que se construyó es de tipo bipartita, ya que permite examinar las relaciones entre estos dos niveles tróficos. La estructura de la red es anidada. Al analizar la red de interacción de las tres especies de estudio, se detectaron un total de tres especies núcleo o también llamadas especies clave (son las que mantienen el mayor número de interacciones en comparación con el resto de las especies del mismo nivel trófico) que corresponden a *Apis mellifera* (morfoespecie 1), *Sphenarium* sp. (morfoespecie 6) y una especie de la familia Curculionidae (morfoespecie 4) (Figura 13).

La red de interacción constaba de 84 especies (tres especies de plantas y 81 especies de artrópodos) con 104 interacciones.

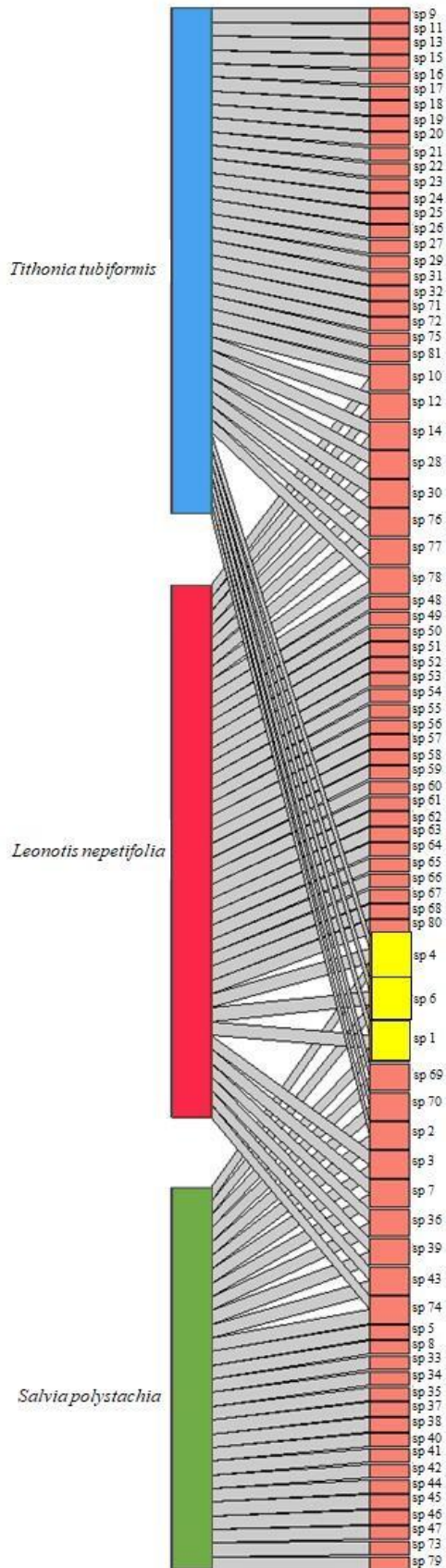


Figura 13. Red de interacción planta-visitante floral de las tres especies de estudio en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México. Los nodos de lado izquierdo muestran a las especies de plantas y los de lado derecho a los artrópodos visitantes florales. El color amarillo señala a las especies núcleo de visitantes florales. Mientras que las interacciones se muestran en gris. El grosor de cada enlace equivale a la frecuencia de las interacciones.

De las 81 morfoespecies de visitantes florales registradas, solo tres de ellas (*Apis mellifera*, *Sphenarium* sp. y una especie de la familia Curculionidae) son compartidas por las especies de estudio. *L. nepetifolia* y *T. tubiformis* compartieron el mayor número de morfoespecies (ocho, 9.88 %) de los cuales destacan *Ochraethes dimidiaticornis* (Cerambycidae), *Sphenarium purpurascens* (Pyrgomorphidae) y una especie de la subfamilia Melolonthinae. Por otro lado, *L. nepetifolia* y *S. polystachia* compartieron seis morfoespecies (7.41 %) destacan varias especies del orden Hemiptera. Mientras que *S. polystachia* y *T. tubiformis* compartieron únicamente tres morfoespecies (3.70 %): *Euphoria basalis* (Scarabaeidae), *Leptophobia aripa elodia* (Pieridae) y *Leptotes marina* (Lycaenidae) (Figura 14).

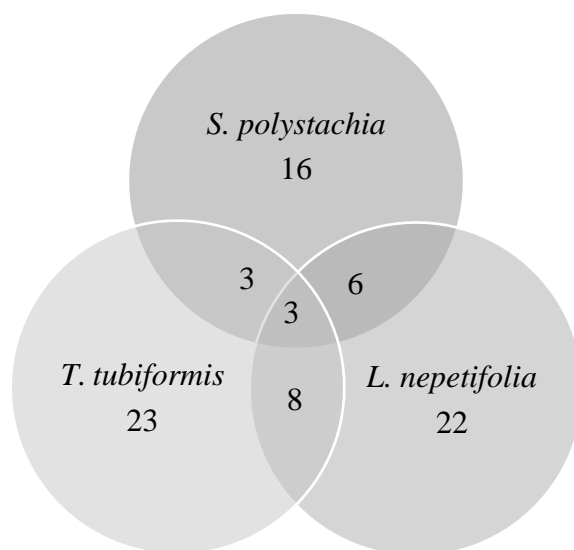


Figura 14. Diagrama de Venn que muestra las morfoespecies de artrópodos visitantes florales exclusivas y compartidas entre *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis* en los dos días de observación (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020).

Del total de las morfoespecies observadas que visitaron a *S. polystachia* (28 morfoespecies), el 57.14 % son visitantes exclusivos de esta especie, de las cuales destaca el abejorro *Xylocopa* sp. De las 39 morfoespecies que visitaron a *L. nepetifolia*, el 56.41 % visitan únicamente a esta especie, dentro de las cuales se encuentran los colibríes y la chinche africana (*Agonoscelis puberula*). De todas las morfoespecies que visitaron a *T. tubiformis* (37), el 62.16 % visitan exclusivamente a esta especie, de las cuales destaca la chinche *Orius* sp. y el mayate de la calabaza (*Euphoria basalis*), aunque este último también visitó las flores de *S. polystachia* pero en menor frecuencia (Figura 14 y 15).

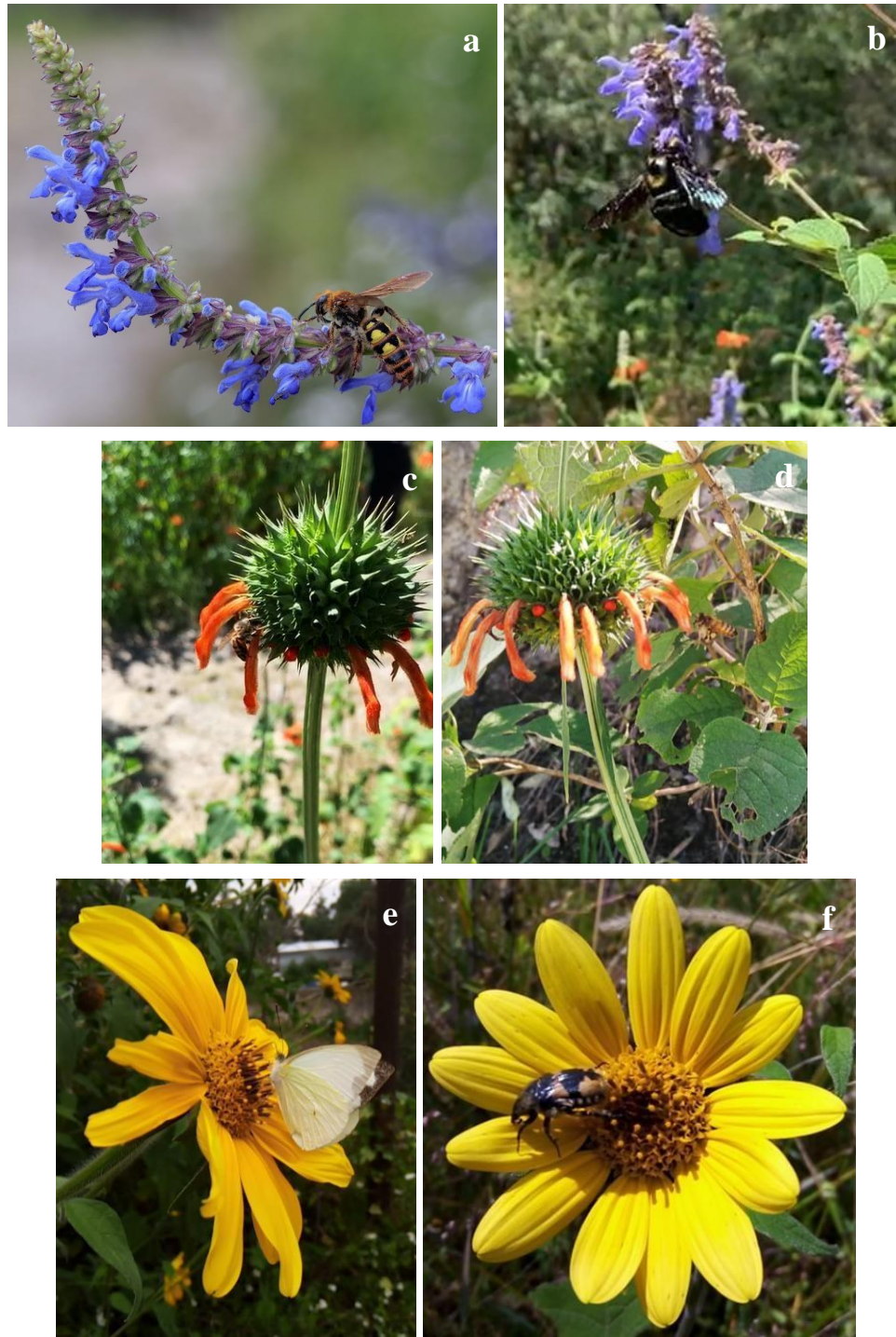


Figura 15. Algunos visitantes florales observados en el sitio de estudio Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2020). *Salvia polystachia*: a) *Xanthocampsomeris limosa* y b) *Xylocopa* sp.; *Leonotis nepetifolia*: c) y d) *Apis mellifera*; *Tithonia tubiformis*: e) *Leptophobia aripa elodia* y f) *Euphoria basalis*.

La frecuencia de visitas florales es diferente a lo largo del día, la mayor abundancia se registró entre las 11:30 a las 12:30 horas con 315 individuos, y la menor abundancia de las 13:00 a las 14:00 horas con 161 individuos. El orden Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera y Orthoptera fueron más abundante de las 11:30 a las 12:30 horas. Por otro lado el orden Lepidóptera únicamente estuvo presente de las 14:30 a las 15:30 horas, lo que corresponde con la temperatura más alta (16 °C) registrada para los dos días de observación (Figura 16).

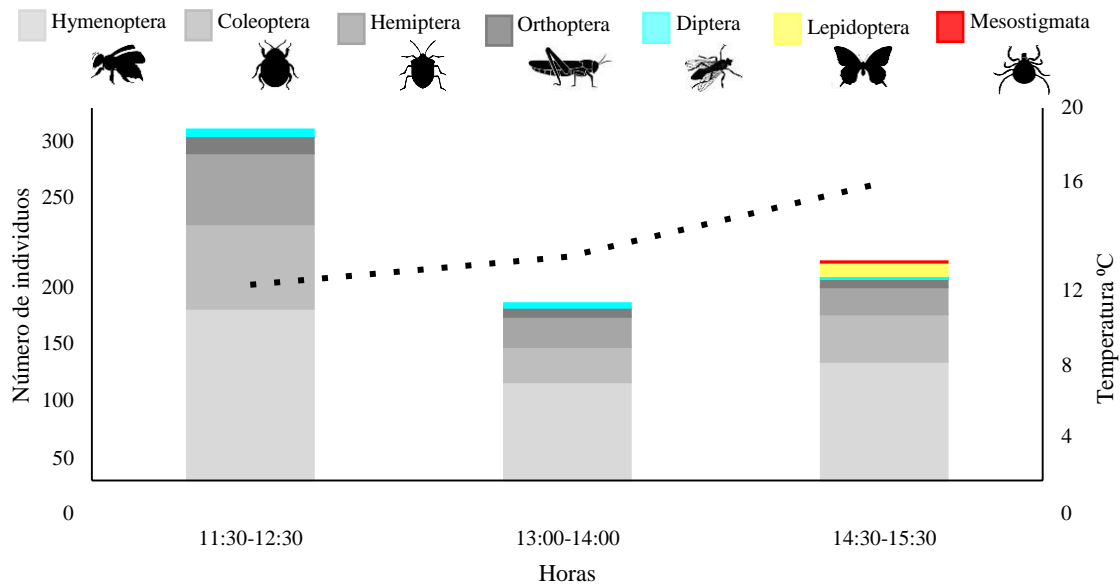


Figura 16. Número de visitantes florales por hora durante los dos días de observación en las tres especies de estudio. Se presenta también la marcha de la temperatura ambiental (Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México, 2020).

9. DISCUSIÓN

Las especies herbáceas estudiadas presentan ciclos de vida anuales, cuyo inicio se presenta alrededor de junio y termina alrededor de noviembre para *Salvia polystachia* y *Tithonia tubiformis*, aunque *Leonotis nepetifolia* extendió su vida hasta febrero del siguiente año. En lo que se refiere a la época de producción de flores, esta coincidió con la temporada húmeda del año, en las arvenses y ruderales se ha reportado que la floración está relacionada con la disponibilidad de agua (Casiano-Dominguez y Paz-Pellat, 2018; Mora-Parada et al., 2020; Zuluaga et al., 2009). La presencia de flores en *S. polystachia* tuvo una duración de 70 días; la de *L. nepetifolia* de 120 días y la de *T. tubiformis* de 60 días, lo cual indica una producción intrapoblacional agregada. La distribución espacial de estas especies se presenta en parches. En el pico de floración la densidad de recurso floral fue alta, ya que para *S. polystachia* se registraron 911 flores/m², para *T. tubiformis* fue de 4,204 flores/m² y para *L. nepetifolia* fue de 523 flores/m², lo cual hace a la comunidad de herbáceas un recurso importante para los insectos visitantes de flores. En la figura 17, se presentan la temperatura y la fenología de las tres especies, donde puede observarse que existe alta coincidencia en la floración intrapoblacional, así como interespecífica sobre todo en el caso de *S. polystachia* y *T. tubiformis*. Sin embargo, para el caso de *L. nepetifolia* aunque se presenta coincidencia en la floración con las otras especies para los meses de octubre y noviembre, su floración se extiende hasta febrero. Los registros fenológicos sobre la floración de esta última especie señalan que ésta se presenta de junio a diciembre en Hidalgo (Díaz-Segura et al., 2020). El retraso en la floración en el cerro de Xochitepec, evidencia la plasticidad fisiológica de la planta para adaptarse a diferentes condiciones ecológicas y ambientales (Wolkovich y Cleland, 2011). En referencia a esto, se ha sugerido que la plasticidad es una de las características principales de las plantas invasoras, gracias a la cual pueden aprovechar los recursos disponibles como se ha reportado para esta especie en poblaciones de América, Asia y Oceanía (Thompson y Acevedo-Rodríguez, 2015).

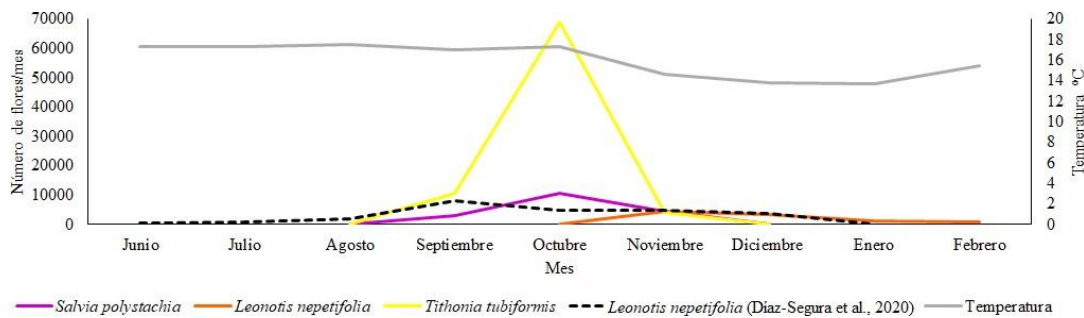


Figura 17. Época de floración de las tres especies de estudio en el Cerro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México (2021-2022) y época de floración de *Leonotis nepetifolia* reportada por Díaz-Segura et al., 2020.

Las plantas arvenses son ampliamente diversas en todos sus aspectos, incluso en su morfología floral, hay hierbas silvestres con flores solitarias y otras en donde sus flores se encuentran arregladas en inflorescencias (Rendón-Aguilar y Bernal-Ramírez, 2017). Las tres especies de estudio presentan inflorescencias muy distintas, lo cual podría ser un factor muy importante en la atracción de diversos visitantes florales (Fernández et al., 2001; Solano-Pérez y Guzmán-Monroy, 2020).

Las características florales de *S. polystachia* (flores azul-morado, pequeñas con un labio inferior amplio que sirve de plataforma de aterrizaje a los visitantes y guías de néctar) coinciden con aquellas especies polinizadas principalmente por abejas, es decir, corresponden con el síndrome de polinización melitófilo (Dafni, 1992; Espino-Espino et al., 2014). Incluso el mecanismo de palanca estaminal (mecanismo de polinización) que presenta esta especie está adaptado para que sus flores sean polinizadas por abejas, ya que si bien, en la mayoría de las especies del género *Salvia* la palanca no está especializada para un solo polinizador (Classen-Bockhoff et al., 2004), algunas especies la adaptan para ser polinizadas por abejas mientras que otras para ser polinizadas por colibríes, al presentar estambres con diferentes longitudes (Classen-Bockhoff et al., 2003; Espino-Espino et al., 2014). En esta especie de *Salvia*, la longitud de los estambres es pequeña, de 0.68 cm. Se ha reportado que en general, las abejas visitan flores pequeñas de alrededor de 1 cm y con recompensas tales como el néctar y el polen (Willmer, 2011).

Los rasgos florales que presenta *L. nepetifolia* (flores rojas-anaranjadas, tubulares, largas y con gran cantidad de néctar) conducen a esta especie a presentar un síndrome de polinización

ornitófilo (Espino-Espino et al., 2014; Johnson y Nicolson, 2008; Rodríguez-Gironés y Santamaría, 2004). En la observación de visitantes florales que se realizó en el sitio de estudio, se logró registrar la visita de colibríes a las flores de esta especie y las abejas también realizaron visitas a estas flores. Cabe destacar, que no todas las abejas visitaron las flores de la misma manera, algunas visitaban la flor por enfrente entrado en contacto con los estambres y los pistilos, mientras que otras funcionan como robadoras de néctar, ya que consumían el néctar de la base de la corola (Figura 15). En el presente estudio, los parámetros morfológicos florales que se determinaron para esta especie coincidieron con los reportados por Díaz-Segura et al. (2020), los cuales fueron evaluados en flores de poblaciones del estado de Hidalgo.

Los caracteres florales de *T. tubiformis* (flores amarillas, pequeñas y con gran cantidad de polen) se ajustan a un síndrome de polinización melitófilo (Faegri y Van der Pijl, 1979). Además, de contar con un mecanismo de aterrizaje que involucra flores liguladas (estériles) amarillas y de gran tamaño (3 a 4 cm de largo), las cuales también funcionan como una señal de atracción para abejas y escarabajos (Dafni, 1992). En esta especie, el polen fue la única recompensa para los visitantes florales, lo cual resulta de especial importancia ya que las abejas visitan las flores en busca de polen principalmente (utilizado por las abejas para alimentar a las crías y a los individuos jóvenes, Vit, 2004) a diferencia de las aves que la mayoría de las veces solo utilizan el néctar (Rodríguez-Gironés y Santamaría, 2004).

Las diferencias en los rasgos florales de las tres especies de estudio promueve la especialización para diferentes grupos de visitantes florales (Brandeburgo et al., 2009; Grajales–Conesa et al., 2011), ya que, Gübitz et al. (2009) mencionan que la preferencia de los polinizadores está determinada por un conjunto de caracteres florales que se ajustan a la morfología y el comportamiento de los diversos animales. Por otro lado, se considera la forma floral como un carácter clave que delimita el tipo de visitante floral que puede llevara cabo una polinización efectiva (Faegri y Van der Pijl, 1979).

Esto refuerza la idea de que especies vegetales con rasgos morfológicos florales distintos que coexisten en un sitio determinado atraigan a grupos distintos de visitantes florales. En términos de conservación, la gran diversidad morfológica floral permite el mantenimiento de

una amplia comunidad de visitantes florales, tales como los insectos y las aves (Ramírez, 1997; Vaca-Uribe, 2019).

Por otro lado, se registró que la relación polen/óvulo de Cruden (1977) en las tres especies de estudio fue alta, lo que sugiere que presentan un sistema de apareamiento de tipo xenógamo obligado (necesitan de polinización cruzada) como se ha reportado en la mayoría de las angiospermas. Además, se ha registrado que las plantas con flores hermafroditas a menudo presentan incompatibilidad (rechazan su propio polen) por lo que requerirán de polinización cruzada (Faegri y Van der Pijl, 1979). Sin embargo, Díaz-Segura et al. (2020) sugieren que *L. nepetifolia* presenta un sistema de apareamiento xenógamo facultativo. Por lo que se sugiere complementar los resultados obtenidos en el presente estudio aplicando el índice de entrecruza de Cruden (OCI, outcrossing index) (Cruden, 1977) y experimentos de polinización.

Las plantas arvenses son un amplio grupo de herbáceas silvestres que pertenecen a una gran variedad de familias, la familia Asteraceae es una de las más representativas. En México se ha registrado que existen más de 3,000 especies consideradas como arvenses que corresponde al 12% de toda la flora vascular (Guzmán-Mendoza et al., 2022). Se ha reportado que la diversidad de granos de polen de las herbáceas es sumamente amplia (Campos-Trujillo et al., 2015), lo que puede observarse en el presente estudio, ya que aunque los granos de polen de las especies estudiadas comparten algunos rasgos morfológicos, se puede ver claramente que estos presentan características únicas determinados por la familia a la que pertenecen. Por ejemplo, los granos de polen de *T. tubiformis* presentan ornamentación con espinas (Lámina VIII), siendo esta la característica distintiva de la familia Asteraceae, ya que se ha reportado que los granos de polen de las compuestas son espinosos, esto para facilitar su adherencia a los animales que realizan la polinización (Rojas-Villegas, 2016; Stanski et al., 2016). Mientras que para *S. polystachia* y *L. nepetifolia* que pertenecen a la familia Lamiaceae presentaron diferencias en su ornamentación y tamaño (Láminas III y IV), se ha documentado que el tamaño de los granos de polen se considera carácter de valor taxonómico debido a que generalmente permanece constante dentro de una misma especie (García et al., 2015).

En los granos de polen de las especies aquí estudiadas se encontraron tres diferencias morfológicas principales: 1) tipo de abertura, en *S. polystachia* es estefanocolpada (seis

colpos), en *L. nepetifolia* es tricolpada (tres colpos) mientras que en *T. tubiformis* es tricolporada (tres colpos con poros); 2) forma, *S. polystachia* y *L. nepetifolia* presentan forma subprolata mientras que en *T. tubiformis* es oblato-esferoidal; 3) tamaño, los granos de polen de *L. nepetifolia* y de *T. tubiformis* son medianos (26-50 μm), mientras que los de *S. polystachia* son pequeños (10-25 μm). Lo cual es de gran importancia taxonómica, ya que Campos-Trujillo et al. (2015) mencionan que el tamaño, la forma, la ornamentación y el tipo de aberturas son los caracteres más útiles para la identificación de las especies. Se considera, que estas diferencias en los caracteres morfológicos del polen podrían estar funcionando como una estrategia para evitar la entrada o receptividad de polen interespecífico en el estigma. Por su parte, Chouteau et al. (2008) mencionan que el tamaño del polen podría ser un rasgo asociado al tipo de polinizador con el fin de maximizar su transporte. Además, el estudio palinológico de los granos de polen contenidos en el cuerpo de los visitantes florales puede ayudar a descubrir las preferencias de estos en relación a la diversidad de flores que se presentan en una comunidad (Carabalí-Banguero et al., 2020).

El néctar (sustancia acuosa) es secretado por glándulas situadas dentro del tubo de la corola y se considera como una de las recompensas más importantes que las flores brindan a los visitantes florales por su servicio de polinización (Cruden et al., 1983). Rodríguez-Peña (2011) y Sandoval-Benítez (2019) han planteado que las características del néctar pueden estar influenciadas por el tamaño de la flor, por factores bioquímicos, ecológicos y evolutivos. Además, se ha documentado que la producción de néctar por flor se correlaciona con la longitud del tubo de la corola (Rojas-Nossa, 2013), tal como se documentó en este estudio. Las flores de *S. polystachia* con una longitud de 1.11 cm (± 0.02 EE) presentaron menor cantidad de néctar ($0.74 \mu\text{L} \pm 0.34$ DE/flor) mientras que las flores de *L. nepetifolia* con una longitud de 3.02 cm (± 0.06 EE) produjeron un volumen de néctar de $3.56 \mu\text{L} (\pm 0.81$ DE/flor). También, se ha reportado que las flores ornitófilas producen mayor cantidad de néctar como es el caso de *L. nepetifolia* (Goldblatt y Manning, 2006; Rodríguez-Gironés y Santamaría, 2004).

Otras características del néctar, como la concentración y composición de azúcares, fueron notoriamente diferentes entre las especies aquí estudiadas. Esto podría relacionarse con los diferentes síndromes de polinización que presentan estas especies, ya que, Goldblatt et al. (1999), Plowright (1987) y Pyke y Waser (1981) mencionan que las flores polinizadas por

abejas y polillas producen néctar más concentrado mientras que las flores ornitófilas a menudo producen un néctar relativamente diluido. En este sentido, la concentración de azúcares en el néctar de *S. polystachia* debería ser mayor a la de *L. nepetifolia*. Sin embargo, en este estudio, encontramos que el néctar de *S. polystachia* está más diluido (Tabla 4). Este hecho podría deberse a que las características del néctar están fuertemente asociadas con los grupos funcionales que visitan sus flores (Kulloli et al., 2011), ya que, la concentración y composición de azúcares en el néctar está relacionada con los requisitos energéticos y nutricionales de cada uno de estos grupos (González-Teuber y Heil, 2009; Sandoval-Benítez, 2019). En el caso de *L. nepetifolia* se ha registrado que presenta síndrome de polinización ornitófilo, sin embargo, en este estudio se observó que además de colibríes presentó numerosas visitas de otros grupos de polinizadores como abejas, chinches y escarabajos, lo que podría estar promoviendo que esta especie presente mayor concentración de azúcares en el néctar. Incluso en un estudio de la dinámica del néctar y polinizadores de tres poblaciones de *L. nepetifolia* en la India, encontraron una menor concentración de azúcares en el néctar ($16.80 \% \pm 1.75$ DE), donde sus polinizadores efectivos fueron aves paseriformes (*Nectarina zeylanica* y *Nectarina asiatica*), pero también reportaron una amplia gama de polinizadores, tales como las abejas, mariposas y polillas halcón (Kulloli et al., 2011).

Se ha registrado, que las especies polinizadas por colibríes secretan néctares dominantes o con proporciones altas de sacarosa, mientras que las flores polinizadas por insectos tienden a producir néctar con una proporción similar entre sacarosa y hexosa (Chalcoff et al., 2006). Sin embargo, para *S. polystachia* una especie con síndrome melitófilo encontramos que su néctar es dominante en sacarosa ($80.07 \% \pm 4.86$ DE; $r = 4.02$) mientras que para *L. nepetifolia*, especie con síndrome ornitófilo, su néctar fue rico en glucosa ($37.80 \% \pm 2.61$ DE; $r = 0.40$). Nuestros resultados coinciden con los reportados por Kulloli et al. (2011), quienes reportaron mayor concentración de glucosa en el néctar de *L. nepetifolia* ($45.35 \% \pm 1.95$ DE), seguido de fructuosa ($36.05 \% \pm 1.60$ DE) y en menor concentración de sacarosa ($18.60 \% \pm 1.83$ DE). Esto podría deberse a que los polinizadores no son la única fuerza que modela la composición de azúcares en el néctar, sino que también influyen las interacciones con herbívoros, los robadores de néctar y los depredadores y/o dispersores de semillas (Chalcoff et al., 2006).

Los COVs que se encuentran en las flores son distintos a los que se encuentran en las hojas, ya que los aromas florales están más dirigidos a la atracción de polinizadores por lo que tienen una gran función en la reproducción de las angiospermas (Grajales-Conesa et al., 2011; Picherski y Gershenzon, 2002), mientras que los de las hojas están enfocados a repeler depredadores y evitar la colonización por bacterias y hongos patógenos (Cantúa-Ayala et al., 2019). Sin embargo, algunos COVs son emitidos tanto por hojas como por flores, por ejemplo: el β -cariofileno y el β -ocimeno, que cumplen funciones ecológicas importantes, tales como: atraer polinizadores y disuadir herbívoros (Cárdenas et al., 2015; Farré-Armengol et al., 2017). En las especies arvenses se han determinado una amplia variedad de compuestos volátiles florales, como terpenoides, fenilpropanoides y bencenoides (Ávila-Quezada et al., 2022). Las flores de las tres especies aquí estudiadas emitieron una amplia variedad de COVs (Tablas 6, 7 y 8), lo cual podría estar relacionado con su filogenia, sus interacciones biológicas con distintos grupos de florívoros y polinizadores o incluso con factores ambientales como: temperatura, luz y humedad (Marín-Loaiza y Céspedes, 2007). Los COVs florales de cada una de las especies de estudio fueron completamente diferentes, solamente compartieron dos compuestos volátiles florales: el β -cariofileno y el α -copaeno, los cuales están presentes a distintas abundancias. El α -copaeno se ha registrado como parte del aroma floral de especies pertenecientes a diversas familias, incluidas las familias a las que pertenecen las especies aquí estudiadas, Asteraceae y Lamiaceae (Baser et al., 2002; Baser et al., 2006; Shawl et al., 2002). Además, se ha registrado como un compuesto que atrae a una gran variedad de especies de escarabajos (El-Sayed, 2021), esto podría ser una de las razones por la cual un coleóptero es visitante floral compartido por las tres especies de este estudio, aunque también podría deberse a que esta especie de visitante floral sea un generalista. Para poder resolver esta incógnita es necesario determinar a nivel de especie a este coleóptero y conocer sus características biológicas y ecológicas.

Las flores de *S. polystachia* emitieron principalmente α -pineno, β -cariofileno, β -pineno y α -terpinoleno (Tabla 6). El α -pineno representó el 23.41% de la abundancia relativa de su aroma floral. Cabe mencionar que de flores del género *Ophrys* (plantas especializadas en atraer grupos específicos de polinizadores, principalmente Himenópteros) se han aislado dos principales compuestos volátiles: α -pineno y limoneno, y se tiene registro de que este taxón es polinizado por avispa esfécidas y escólicas y abejas solitarias (Metcalf y Kogan,

1987). Por lo tanto, es posible que la visita de *Pygodasis ephippium* (avispa escólida), *Pygodasis* sp. (avispa escólida) y *Xylocopa* sp. (abeja solitaria) (morfoespecies 45, 46, 47) a las flores de *S. polystachia* en este estudio sea el resultado de la emisión de estos químicos volátiles. Además, la presencia del β -cariofileno en las flores de *S. polystachia* podría estar evitando la florivoría por parte de ortópteros en esta especie, ya que Junker et al. (2010) documentaron que el linalol y el β -cariofileno presente en aromas florales funcionan como disuasores del florívoro facultativo *Metrioptera bicolor* (Orthoptera).

Se encontraron diversos compuestos volátiles en las flores de *L. nepetifolia*, tales como la 3-octanona y el β -ocimeno. En su néctar sólo se encontraron tres compuestos volátiles: nonanal, octanal y decanal (Tablas 7 y 10). La emisión de diferentes COVs de las flores y del néctar de esta planta invasora podría ser un factor clave en el éxito de esta especie como exótica, ya que sus compuestos volátiles atraen un gran grupo de insectos de los cuales algunos podrían estar funcionando como polinizadores (Jakubská-Busse et al., 2022), dentro de los que se encuentran: coleópteros (*Hippodamia* sp., *Ochraethes dimidiaticornis* y *Pseudolinda quinquepunctata*), dípteros (Muscidae y Syrphidae), hemípteros (*Agonoscelis puberula* y *Cosmopepla* sp.), himenópteros (*Apis mellifera*, Anthophila y Vespidae) y ortópteros (*Melanoplus differentialis* y *Sphenarium purpurascens*). Se ha documentado que el nonanal es atractivo a moscas de la familia Sarcophagidae y escarabajos de la familia Scolytidae (De Groot y Poland, 2003; Jakubská-Busse et al., 2022; James, 2005), sin embargo, no observamos los taxones mencionados en las flores de *L. nepetifolia*, pero registramos moscas y escarabajos de otras familias (Muscidae, Syrphidae, Coccinellidae y Cerambycidae).

Las flores de *T. tubiformis* emitieron principalmente 3-careno (69.89% de la abundancia relativa), D-limoneno y γ -terpineno (Tabla 8). Cruz-López et al. (2001) analizaron el aroma floral del mango, encontraron que el 3-careno es el principal compuesto que atrae a los escarabajos, lo cual coincide con esta especie de *Tithonia*. Aunque, *T. tubiformis* presenta un síndrome de polinización melitófilo se registró que sus flores fueron visitadas principalmente por especies del orden Coleoptera (Figura 10). Lo que sugiere que las flores de esta especie pueden tener aplicaciones para controlar a los escarabajos herbívoros. Sin embargo, se requieren de estudios experimentales detallados donde se prueben las respuestas de estos insectos al aroma floral de esta especie y evaluar cómo estas respuestas influyen en las plantas.

Las flores de *S. polystachia* y de *L. nepetifolia* emiten dos COVs en común (linalool y β -ocimeno) y comparten seis especies de visitantes florales (tres especies de chinches, una de moscas, una de abejas y una de saltamontes). Los COVs compartidos entre especies podrían estar relacionados con los grupos de insectos que visitan sus flores. Ya que Jakubska-Busse et al. (2022) mencionan que el β -ocimeno es considerado como un atrayente general de un amplio espectro de polinizadores que incluye a las abejas. Además, se reporta como componente predominante en el aroma floral de varias familias de plantas. Por otro lado, se ha documentado que el linalool también interviene en la atracción de las abejas (Grajales-Conesa et al., 2011).

Por otro lado, las flores de *S. polystachia* y de *T. tubiformis* emiten cinco COVs en común (canfeno, γ -terpineno, D-limoneno, α -terpinoleno y α -felandreno) y comparten tres especies de visitantes florales, dos especies de mariposas (*Leptophobia aripa elodia* y *Leptotes marina*) y una de escarabajos (*Euphoria basalis*). Aunque también son visitadas por otras especies de mariposas, *S. polystachia* es visitada por *Dione vanillae* y *T. tubiformis* por *Danaus gilippus* y *Zerene cesonia cesonia*. Se ha reportado el D-limoneno como compuesto volátil en las flores de plantas polinizadas por lepidópteros (Cunningham et al., 2006), lo cual podría explicar la preferencia de la visita de diversas especies de mariposas a las flores de *S. polystachia* y de *T. tubiformis*.

Sin embargo, parece que el efecto en conjunto de los COVs determinados en las tres especies de estudio, explica mejor la visita de todos los grupos animales a estas plantas. Ya que se ha planteado que los grupos de insectos como polinizadores y herbívoros, reconocen a las plantas, no solo por un compuesto sino por proporciones específicas de un conjunto de compuestos (Bruce et al., 2005).

A nivel comunidad encontramos que dos de las especies estudiadas (*S. polystachia* y *T. tubiformis*) tienen un solapamiento completo en la época de su floración (septiembre a noviembre). En lo que se refiere a *L. nepetifolia*, la coincidencia fenológica es parcial ya que su periodo de floración es más largo y solo existe solapamiento con las otras dos especies en los meses de octubre y noviembre cuando su floración está empezando, pero esta se prolonga hasta febrero cuando constituye el principal recurso floral de entre las herbáceas de la zona.

La sincronía a nivel comunidad podría influir en la diversidad y abundancia de visitantes florales (Kudo, 2006) que en este caso fueron 81 morfoespecies. Por otro lado, se ha considerado que el traslape en la floración podría promover también la competencia por polinizadores (Arroyo-Pérez et al., 2020), sin embargo, el hecho de que las flores de las especies de estudio fueran morfológicamente distintas (en el color, forma, tamaño de la corola, néctar, COVs y cantidad de polen) disminuye la posibilidad de competencia. Ya que, algunos polinizadores tenderán a visitar un fenotipo floral determinado, haciendo que la dinámica de la transferencia del polen y la frecuencia de visitas presente variaciones. Las herbáceas silvestres estudiadas solo compartieron el 24.69 % de visitantes florales, esto refuerza la idea de que, la competencia se reduce en especies que presentan traslape en sus periodos de floración debido a que presentan flores morfológicamente diferentes. Las flores de las especies de herbáceas silvestres presentan una gran variedad en sus rasgos morfológicos lo que atrae y mantiene a una gran diversidad de visitantes florales y de polinizadores.

El hecho de que *Apis mellifera* sea haya registrado como visitante floral de las tres especies de estudio podría deberse a que esta especie es considerada como una abeja poliléctica (generalista, visita plantas de diferentes familias botánicas para recolectar polen) (Baena-Díaz et al., 2022).

Las herbáceas no solo son importantes en las etapas de transición si no también cuando el ecosistema mantiene un proceso completo, siguen produciendo flores que permiten el mantenimiento de una gran comunidad de fauna.

10. CONCLUSIONES

A partir del estudio aquí presentado sobre la biología floral de *Salvia polystachia*, *Leonotis nepetifolia* y *Tithonia tubiformis*, especies de herbáceas que se encuentran en el estrato bajo del bosque del cerro de Xochitepec, encontramos que:

- Las tres especies tienen una fenología floral de periodos cortos, los cuales coinciden con el incremento de humedad ambiental. Esto hace que haya coincidencia temporal en la fenología floral de las tres especies.
- Las tres especies difieren tanto por sus tipos de inflorescencia como por las características de sus flores: color, forma, tamaño, cantidad y tipo de polen, néctar y COVs, lo cual podría determinar una atracción diferencial para distintas especies de insectos y esto coadyuvará al mantenimiento de una amplia diversidad a nivel de la comunidad de visitantes florales.
- Aunque no se realizaron estudios más detallados, la relación polen/óvulo de las flores de las tres especies estudiadas señalan la presencia de un sistema de apareamiento xenógamo obligado (Cruden 1977) por lo que los visitantes florales juegan un papel potencial importante propiciando la cruce entre los individuos de cada población.
- Los granos de polen de las especies estudiadas presentan rasgos morfológicos comunes (mónadas, isopolares y radiosimétricos), así como diferencias particulares: los de *S. polystachia* son pequeños, subprolatos y estefanocolpados; los de *L. nepetifolia* son medianos, subprolatos y tricolpados; mientras que los de *T. tubiformis* son medianos, oblato-esferoidales y tricolporados. Estas características pueden estar relacionadas con la atracción de animales particulares, las probabilidades de adhesión al cuerpo de estos vectores biológicos, el reconocimiento de un sustrato adecuado en el estigma de las flores para la formación de tubos polínicos que permitan la fecundación de los óvulos una vez que los granos de polen han llegado a otra flor de su misma especie, así como evitar la germinación de los granos de polen interespecíficos.
- El néctar es un atrayente importante para los visitantes florales, encontramos que el volumen producido por las flores está relacionado con el tamaño de la corola. El néctar de *S.*

polystachia fue dominante en sacarosa mientras que el de *L. nepetifolia* fue rico en hexosa.

- La producción de COVs es diversa y se presentan diferencias entre las flores de las especies estudiadas. Las flores de *S. polystachia* emitieron principalmente α -pineno el cual se ha reportado que atrae principalmente a Himenópteros, tal como ocurre para esta especie. Las flores de *L. nepetifolia* emitieron diversos compuestos volátiles, que atrae una gran variedad de insectos. Las flores de *T. tubiformis* emitieron principalmente 3-careno, considerado como el principal compuesto que atrae a los escarabajos.
- Se registraron un total de 81 morfoespecies de visitantes florales pertenecientes a siete órdenes para las tres especies de estudio. La red de interacción planta-visitante floral mostró sólo tres especies núcleo (visitaron a las tres especies herbáceas aquí estudiadas): *Apis mellifera*, *Sphenarium* sp. y una especie de la familia Curculionidae.
- Al comparar la riqueza de morfoespecies (0D , diversidad de orden $q = 0$) entre las tres especies se observó que no hay diferencias significativas en cuanto a la riqueza y diversidad de visitantes florales, sin embargo, cada especie de estudio presentó visitantes florales exclusivos.
- Los valores del orden $q2$ (número de morfoespecies muy abundantes) indican que la estructura de la comunidad de visitantes florales entre estas plantas es diferente, al mostrar diferencias significativas entre ellas, lo cual se atribuye a las grandes diferencias florales que presentan estas especies.

Este trabajo representa un estudio detallado de la biología floral de *S. polystachia*, *L. nepetifolia* y *T. tubiformis*, así como el primer estudio sobre compuestos orgánicos volátiles florales de estas especies.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abubacker, M. N. y Ramanathan, R. (2003). Efficacy of *Euphorbia splendens* and *Leonotis nepetaefolia* on aflatoxin producing fungi *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. *India Journal of Experimental Biology*, 41(12), 1473-1475.
- Arroyo-Pérez, E., Jiménez-Sierra, C. L., Zavala-Hurtado, J. A. y Flores, J. (2019). Fenología, sincronía floral y éxito reproductivo de *Neolloydia conoidea* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 97(4), 579-587. <https://doi.org/10.17129/botsci.2184>
- Arroyo-Pérez, E. (2020). *Éxito reproductivo y germinación de Ariocarpus kotschoubeyanus y Neolloydia conoidea (Cactaceae) en una zona semiárida de Querétaro*. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana]. TESIUMI.
- Ávila-Quezada, G. D., Torres-Martínez, J. G., Sétamou, M., Gardea-Béjar, A. A., Berzoza-Gaytán, C. A. y Orduño-Cruz, N. (2022). Arvenses nativas y exóticas en parcelas de chile jalapeño. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 399-407. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.399>
- Ayala-Barajas, R. y Meléndez-Ramírez, V. (2017). Taxonomía de insectos, orden Hymenoptera. Familia Vespidae. En Cibrián-Tovar, D. (Ed.), *Fundamentos de entomología forestal* (pp. 348–353). Universidad Autónoma de Chapingo.
- Baena-Díaz, F., Chévez, E., Ruiz de la Merced, F. y Porter-Bolland, L. (2022). *Apis mellifera* en México: producción de miel, flora melífera y aspectos de polinización. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2), 525-548. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5960>
- Baker, H. G. y Baker, I. (1983). A brief historical review of the chemistry of floral nectar. En Bentley, B. y Elias, T. S. (Eds.), *The Biology of nectarines* (pp. 126- 152). Columbia University Press.
- Barrientos-Lozano, L. (2004). Orthoptera. En Llorente, J., Morrone, J. J., Yañes, O. y Vargas, I. (Eds.), *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento* (pp. 603-625). Universidad Nacional Autónoma de México.

- Baser, K. H. C., Demirci, B. y Kirimer, N. (2002). Compositions of the essential oils of Four *Helichrysum* species from Madagascar. *Journal of Essential Oil Research*, 14(1), 53-55. <https://doi.org/10.1080/10412905.2002.9699762>
- Baser, K. H. C., Demirci, B., Iscan, G., Hashimoto, T., Demirci, F., Noma, Y. y Asakawa, Y. (2006). The Essential Oil Constituents and Antimicrobial Activity of *Anthemis aciphylla* BOISS. var. *discoidea* BOISS. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 54(2), 222-225. <https://doi.org/10.1248/cpb.54.222>
- Blanco-Valdes, Y. (2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 34-56. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10964.19844>
- Blanco-Valdes, Y. y Leyva, Á. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21-28.
- Brandenburg, A., Dell'Olivo, A., Bshary, R. y Kuhlemeier, C. (2009). The sweetest thing: Advances in nectar research. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(4), 486-490. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.002>
- Bruce, T. J. A., Wadhams, L. J. y Woodcock, C. M. (2005). Insect host location: a volatile situation. *TRENDS in Plant Science*, 10(6), 269-274. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.04.003>
- Calderón de Rzedowski, G. y Rzedowski, J. (2004). Manual de malezas de la región de Salvatierra, Guanajuato. Flora del bajío y de regiones adyacentes. Fascículo complementario XX. *Instituto de Ecología, A.C.*, Centro Regional del Bajío. <https://doi.org/10.21829/fb.162.2004.XX>
- Calzada, F., Yepes-Mulia, L., Tapia-Contreras, A., Bautista, E., Maldonado, E. y Ortega, A. (2010). Evaluation of the antiprotozoal activity of neo-clerodane type diterpenes from *Salvia polystachia* against entamoeba histolytica and giardia lamblia. *Phytotherapy research*, 24(5), 662-665. <https://doi.org/10.1002/ptr.2938>
- Calzada, F., Yepes-Mulia, L., Bautista, E. y García, N. (2015). Antiamoebic and anti giardial activity of clerodane diterpenes from mexican *Salvia* species used for the treatment

- of diarrhea. *Phytotherapy research*, 29(10), 1600-1604.
<https://doi.org/10.1002/ptr.5421>
- Campos-Trujillo, A., Aguirre-Prieto, A., Muñoz-Romero, G., Rodríguez-Villa, M. A. y Quintana-Martínez, G. (2015). Estudio palinológico de la flora urbana de la ciudad de Chihuahua, México. *Acta botánica mexicana*, 113.
- Cantúa-Ayala, J. A., Flores-Olivas, A. y Valenzuela-Soto, J. H. (2019). Compuestos orgánicos volátiles de plantas inducidos por insectos: situación actual en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(3).
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.678>
- Carabalí-Banguero, D., Montoya-Lerma, J. y Carabali-Muñoz, A. (2020). Cargas polínicas en entomofauna visitante floral de *Persea americana* (Lauraceae) cv. Hass. *Caldasia*, 42(1), 105-114.
- Cárdenas, O. N. C., González, C. M. M., Figueroa, B. R., Flores, M. A., Romo, A. D., Martínez, G. D. E., Pérez, M. V. y Ramos, L. M. A. (2015). Composition of the essential oil of *Salvia ballotiflora* (Lamiaceae) and its insecticidal activity. *Molecules*, 20(5), 8048-8059.
- Casiano-Dominguez, M. y Paz-Pellat, F. (2018). Patrones espectrales de la fenología del desarrollo vegetativo y reproductivo de árboles de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.). *Terra Latinoamericana*, 36(4), 393-409.
- Chalcoff, V. R., Aizen, M. A. y Galleto, L. (2006). Nectar Concentration and Composition of 26 Species from the Temperate Forest of South America. *Annals of Botany*, 97(3), 413-421.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., MA, K. H., Colwell, R. K. y Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45–67.
- Chao, A. y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93, 2533–2547.

- Chouteau, M., Gibernau, M. y Barabé, D. (2008). Relationships between floral characters, pollination mechanisms, life forms, and habitats in Araceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 156, 29-42.
- Classen-Bockhoff, R., Wester, P. y Tweraser, E. (2003). The staminal lever mechanism in *Salvia*: a review. *Plant Biology*, 5, 33-41.
- Classen-Bockhoff, R., Speck, T., Tweraser, E., Wester, P., Thimm, S. y Reith, M. (2004). The staminal lever mechanism in *Salvia* L. (Lamiaceae): a key innovation for adaptive radiation? *Organisms Diversity & Evolution*, 4(3), 189-205.
- Coro-Arizmendi, M. (2009). La crisis de los polinizadores. CONABIO. *Biodiversitas*, 85, 1-5.
- Cruden, R.W. (1977). Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution*, 31, 32-46.
- Cruden, R. W., Hermann-Parker, S. M. y Peterson, S. (1983). Patterns of nectar production and plant pollinator co-evolution. En Bentley, B. y Elias, T. (Eds.), *Biology of nectaries* (pp. 80-125). Columbia University Press.
- Cruz-López, L., Jiménez-Zuñiga, J. A., Santiésteban-Hernández, A. y Virgén-Sánchez, A. (2001). Response of *Epitragus Sallaei* (Champion) (Coleoptera: Tenebrionidae) to the odor of *Mangifera Indica* flowers. *Southwestern Entomologist*, 26(2), 165-170.
- Cultid-Medina, C. A., González-Vanegas, P. A. y Bedolla-García, B. Y. (2021). Wild bees as floral visitors to *Salvia assurgens* (Lamiaceae): a contribution to the pollination ecology of a white-flowered endemic Mexican sage. *Acta Botánica Mexicana*, 128: e1785.
- Cunningham, J. P., Moore, C. J., Zalucki, M. P. y Cribb, B. W. (2006). Insect odour perception: recognition of odour components by flower foraging moths. *Proc Biol Sci*, 273(1597), 2035-2040.
- Dafni, A. (1992). Pollination ecology. Oxford University Press, Oxford.
- De Groot, P. y Poland, T.M. (2003). Attraction of *Hylastes opacus* (Coleoptera: Scolytidae) to nonanal. *The Canadian Entomologist*, 135, 309–311. <https://doi.org/10.4039/n02-102>

- Delgado, L., Pérez, A. y Blackaller, J. (2000). Claves para determinar a los taxones genéricos y supra genéricos de *Scarabaeoidea* Latraille, 1802 (Coleoptera) de México. *Folia Entomológica Mexicana*, 11, 33–87.
- Díaz-Cantón, J. K. (2018). *Estudio temporal de la composición química del aceite esencial de Litsea glucescens y evaluación de la actividad biológica de sus volátiles* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=TES01
- Díaz-Segura, O., Golubov, J., Mandujano, M. C. y Zavala-Hurtado, J. A. (2020). Reproductive characteristics that favor invasiveness in *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br. *Plant species biology*, 35(4), 270-282. <http://dx.doi.org/10.1111/1442-1984.12278>
- Dieringer, G., Ramamoorthy, T.P. y Tenorio-Lezama, P. (1991). Floral visitors and their behavior to sympatric *Salvia* species (Lamiaceae) in México. *Acta Botánica Mexicana*, (13), 75-83. <https://doi.org/10.21829/abm13.1991.609>
- Dormann, C. F., Fruend, J., Gruber, B., Beckett, S., Devoto, M., Felix, G. M. F., Iriondo, J. M., Opsahl, T., Pinheiro, R. B. P., Strauss, R. y Vázquez, D. P. (2022). *Bipartite: Visualising Bipartite Networks and Calculating Some (Ecological) Indices*. R package version 2.18. <https://cran.r-project.org/web/packages/bipartite/index.html>
- Drews, G. N. y Koltunow, A. M. G. (2011). The female gametophyte. *The Arabidopsis Book*, 155, 423-428.
- Dudareva, N. y Pichersky, E. (2000). Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents. *Plant Physiology*, 122, 627–633.
- El-Sayed, A. M. (2021). *Kovats alpha-copaene*. The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals. <https://www.pherobase.com/database/kovats/kovats-detail-alpha-copaene.php>
- El-Sayed, A. M. (2023). The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals. <https://www.pherobase.com/>
- Erdtman, E. O. G. (1966). Pollen morphology and plant taxonomy angiosperms (An introduction to palinology). New York: Hafner Publ. Co.

- Espino-Espino, J., Baños-Bravo, Y. E. y Cuevas-García, E. (2012). Biología reproductiva y visitantes florales de dos especies de *Salvia* con síndrome de polinización por aves y abejas. *Ciencia Nicolaita*, 55, 52-60.
- Espino-Espino, J., Rosas, F. y Cuevas-García, E. (2014). Variación temporal de visitantes florales en dos especies simpátricas de *Salvia* con floración simultánea y síndrome de polinización contrastante. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 161-166.
- Espinosa-García, F. J. (1981). Las malezas ¿una maldición? *Naturaleza*, 5, 297-307.
- Espinosa-García, F. J. y Sarukhán, J. (1997). Manual de malezas del valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Instituto de Ecología, UNAM. México.
- Estrella-Parra, E. A., Gómez-Verjan, J. C., Céspedes, C. L., Alarcón, J., Cano-Santana, Z., Reyes-García, A., Cerbón-Cervantes, M. A. y Reyes-Chilpa, R. (2016). Volatile organic compounds from *Pachyrhizus ferrugineus* and *Pachyrhizus erosus* (Fabaceae) leaves. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 15(3), 175 – 181.
- Faegri, K. y Van der Pijl, L. (1979). The principles of pollination ecology. Pergamon Press, New York.
- Farré-Armengol, G., Filella, I., Llusà, J. y Peñuelas, J. (2017). β -Ocimene, a Key Floral and Foliar Volatile Involved in Multiple Interactions between Plants and Other Organisms. *Molecules*, 22(7), 1148.
- Fenner, M. (1998). The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspect Plant Ecol Evol Syst*, 1, 78-91.
- Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R. y Thomson, J. D. (2004). Pollination syndromes and floral specialization. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 35, 375-403.
- Fernández, J. L., Garcés, G., Portuondo, E., Valdés, P. y Expósito, I. (2001). Insectos asociados con flores de malezas del Jardín Botánico de Santiago de Cuba, con énfasis en Hymenoptera. *Revista de biología troical*, 49(3-4), 1013-1026.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2022). *Cerro de Xochitepec*. Mexicocity. <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/cerro-de-xochitepec/?lang=es>
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2005). *Decreto que contiene el programa delegacional de desarrollo urbano para la delegación del Distrito Federal en Xochimilco*. https://paot.org.mx/centro/gaceta/2005/mayo05/06mayo05_ter.pdf

- García, L., Rivero, M. y Droppelmann, F. (2015). Descripción morfológica y viabilidad del polen de *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae). *BOSQUE*, 36(3), 487-496.
- García-García, M., Ríos-Osorio, L. A. y Álvarez del Castillo, J. (2016). La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *IDESIA (Chile)*, 34(3): 53-68.
- Gardener, M. C. y Gillman, M. P. (2001). Analyzing variability in nectar amino acids: composition is less variable than concentration. *Journal of Chemical Ecology*, 27(12), 2545-2558.
- Garibaldi, L., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R. y Aizen, M. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science*, 339, 1608-1611.
- Gill, F. B. y Conway, C. A. (1979). Floral Biology of *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br. (Labiatae). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 131: 244-256.
- Giorgis, M. A., Cingolani, A. M., Astegiano, J. y Gurvich, D. E. (2015). Flowering phenology, fruit set and seed mass and number of five coexisting Gymnocalycium (Cactaceae) species from Córdoba Mountain, Argentina. *Journal of the Torrey Botanical Society* 142(3), 220-230.
- Goldblatt, P., Bernhardt, P. y Manning, J. C. (1999). Evidence of bird pollination in the Iridaceae of Southern Africa. *Adansonia*, 21, 25–40.
- Goldblatt, P. y Manning, J. C. (2006). Radiation of Pollination Systems in the Iridaceae of sub-Saharan Africa. *Annals of Botany*, 97(3), 317-344.
- González-Romero, J. (2020). Proyecto “Biodiversidad del Cerro de Xochitepec, Xochimilco-Tlalpan CDMX”. NaturaLista. <https://www.naturalista.mx/projects/biodiversidad-del-cerro-de-xochitepec-xochimilco-tlalpan-cdmx>
- González-Sandoval, R., Catalán-Heverástico, C., Domínguez-Márquez, V. M., Luna-León, C., Hernández-Castro, E., Nava, A. D., Cruz-Lagunas, B. y Palemón, F. A. (2016). Análisis palinológico de los recursos florales utilizados por *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) en cuatro municipios del estado de Guerrero, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19, 19 – 28.

- González-Teuber, M. y Heil, M. (2009). Nectar chemistry is tailored for both attraction of mutualists and protection from exploiters. *Plant Signaling & Behavior*, 4(9), 809-813.
- Goula, M. y Mata, L. (2015). Orden Hemiptera: suborden Heteroptera. *Revista Ibero Diversidad Entomológica*, 53, 1–30.
- Grajales-Conesa, J., Meléndez-Ramírez, V. y Cruz-López, L. (2011). Aromas florales y su interacción con los insectos polinizadores. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1356-1367.
- Gübitz, T., Hoballah, M. E., Dell’Olivo, A. y Kuhlemeier, C. (2009). Chapter 2: Petunia as a Model System for the Genetics and Evolution of Pollination Syndromes. En Gerats, T. y Strommer, J. (Eds.), *Petunia Evolutionary, Developmental and Physiological Genetics* (pp. 29-49). Springer.
- Guzmán-Mendoza, R., Hernández-Hernández, V., Salas-Araiza, M. D. y Núñez-Palenius, H. G. (2022). Diversidad de especies de plantas arvenses en tres monocultivos del Bajío, México. *Polibotánica*, 53, 69-85.
- Hernández-Villa, V. (2018). Visitantes florales y sistemas de reproducción de plantas arvenses del maíz (*Zea mays* L.) en el municipio de Texcoco, Estado de México. Colegio de postgraduados, Institución de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas.
- Hinojosa-Dávalos, J., Gutiérrez-Lomelí, M., Siller-López, F., Rodríguez-Sahagún, A., Morales Del Río, J. A., Guerrero-Medina, P. J. y Del Toro-Sánchez, C. L. (2013). Screening fitoquímico y capacidad antiinflamatoria de hojas de *Tithonia tubiformis*. *Biotechnia*, 15 (2), 53-60.
- Hsieh, T. C., Ma., K. H. y Chao, A. (2022). iNEXT: Interpolation and Extrapolation for species diversity. R package version 3.0.0. <https://cran.r-project.org/web/packages/iNEXT/index.html>
- Jakubská-Busse, A., Dziadas, M., Gruss, I. y Kobyłka, M. J. (2022). Floral Volatile Organic Compounds and a List of Pollinators of *Fallopia baldschuanica* (Polygonaceae). *Insects*, 13, 904. <https://doi.org/10.3390/insects13100904>

- James, D. G. (2005). Further field evaluation of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *Journal of Chemical Ecology*, 31, 481–495.
- Johnson, S. D. y Nicolson, S. W. (2008). Evolutionary associations between nectar properties and specificity in bird pollination systems. *Biology Letters*, 4(1), 49-52.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363–375.
- Junker, R. R., Heidinger, I. M. M. y Blüthgen, N. (2010). Floral Scent Terpenoids Deter the Facultative Florivore *Metrioptera bicolor* (Ensifera, Tettigoniidae, Decticinae). *Journal of Orthoptera Research*, 19(1), 69-74.
- Kovach, W. L. (2011). Oriana – Circular statistics for windows, ver.4. Wales: Kovach Computing Services, Pentraeth.
- Kudo, G. (2006). Flowering phenologies of animal-pollinated plants: reproductive strategies and agents of selection. En Lawrence, D. Harder y Spencer, C.H. Barrett (Eds.), *Ecology and evolution of flowers* (pp. 139-158). Oxford University Press.
- Kulloli, S. K., Chandore, A. N. y Aitawade, M. M. (2011). Nectar dynamics and pollination studies in three species of Lamiaceae. *CURRENT SCIENCE*, 100(4), 509-516.
- Lindqvist, D. N., Pedersen, H. Æ. y Rasmussen, L. H. (2018). A novel technique for determination of the fructose, glucose and sucrose distribution in nectar from orchids by HPLC-ELSD. *Journal of Chromatography*, 126-130.
- Mansilla, R., López, C., Flores, M. y Espejo, R. (2010). Estudios de la biología reproductiva en cinco accesiones de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) Robinson. *Ecología aplicada*, 9(2), 167-175.
- Marín–Loaiza, J. y Céspedes, C. (2007). Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 30, 327–351.
- Márquez-Guzmán, J., Collazo-Ortega, M., Martínez-Gordillo, M., Orozco-Segovia, A. y Vázquez-Santana, S. (2013). Biología de las angiospermas. UNAM, Ciudad de México, 602pp.
- Márquez-Guzmán, J., Wong, R., Pérez-Pacheco, M., López-Curto, L. y Murguía-Sánchez, G. (2016). Técnicas de laboratorio para el estudio del desarrollo en angiospermas. UNAM, Ciudad de México, 248pp.

- Martínez-Gordillo, M., Bedolla-García, B., Cornejo-Tenorio, G., Fragoso-Martínez, I., García-Peña, M. del R., González-Gallegos, J. G., Lara-Cabrera, S. I. y Zamudio, S. (2017). Lamiaceae de México. *Botanical Sciences*, 95(4), 780-806.
- Martínez-Gordillo, M., Martínez-Ambriz, E., García-Peña, M. R., Cantú-Morón, E. A. y Fragoso-Martínez, I. (2019). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Lamiaceae. Instituto de Biología, UNAM.
- Martínez-Hernández, E. (1970). *Palinología de la Laguna Madre, Tamaulipas, México*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Matias-Palafox, M. L., Jiménez-Sierra, C. L., Golubov, J. y Mandujano, M. C. (2017). Reproductive ecology of the threatened "star cactus" *Astrophytum ornatum* (Cactaceae): A strategy of continuous reproduction with low success. *Botanical Sciences*, 95(2), 245-258.
- McCormick, S. (2004). Control of Male Gametophyte Development. *The Plant Cell*, 16, 142– 153.
- Medina-Acosta, M. M. (2016). *Estudio comparativo de morfología polínica y ultraestructura de la exina en tétrades y políades de especies del género Mimosa (Leguminosae, Mimosoideae)* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. TESIAMI. <http://tesiami.izt.uam.mx/uam/default.php>
- Metcalf, R. L. y Kogan, M. (1987). Plant volatiles as insect attractants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 5(3), 251-301.
- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Mora-Carrera, E. (2017). México y sus polinizadores: crónica de una crisis anunciada. *Oikos*.
- Mora-Parada, A. R., Vargas-Ríos, O. y Galvis-Rueda, M. (2020). Sucesión y restauración ecológica en claros experimentales de plantaciones de *Cupressus lusitanica* (Mill). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Morellato, L. P. C., Alberti, L. F. y Hudson, I. L. (2010). Applications of circular statistics in plant phenology: A case studies approach. En Hudson, I. L. y Keatley, M. R. (Eds.), *Phenological research: Methods for environmental and climate change analysis* (pp. 357–371). Springer.

- Movafeghi, A., Abedini, M., Fathiazad, F., Aliasgharpour, M. y Omid, Y. (2009). Floral nectar composition of *Peganum harmala* L. *Natural Product Research*, 23(3), 301–308.
- Muñoz, R., Pitty, A. y Ortiz, V. (1995). Some biological aspects of the weed *Tithonia tubiformis* (Jacq.) in El Zamorano, Honduras. *CEIBA*, 36(2), 255-262.
- Nawaz, N. U. A., Saeed, M., Rauf, K., Usman, M., Arif, M., Ullah, Z. y Raziq, N. (2018). Antinociceptive effectiveness of *Tithonia tubiformis* in a vincristine model of chemotherapy-induced painful neuropathy in mice. *Biomedicine and pharmacotherapy*, 103, 1043-1051. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.04.115>
- Nawaz, N. U. A., Saeed, M., Khan, K. M., Ali, I., Bhatti, H. A., Rehman, S. U., Shahid, M. y Faizi, S. (2019). Isolation of tyrosine derived phenolics and their possible beneficial role in anti-inflammatory and antioxidant potential of *Tithonia tubiformis*. *Natural Product Research*, 35(22), 4286-4294. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1705813>
- Oliveira, A. P., Guimarães, A. L., Pacheco, A. G. M., Araújo, C. S., Oliveira Júnior, R. G., Lavor, E. M., Silva, M. G., Araújo, E. C. C., Mendes, R. L., Rolim, L. A., Costa, M. P., Farias, H. C. L., do Ó Pessoa, C., Lopes, N. P., Marques, L. M. M. y Almeida, J. R. G. S. (2016). Estudio fitoquímico, atividade antimicrobiana e citotóxica de espécimes de *Leonotis nepetifolia* L. R. (Br). *Quim. Nova*, 39(1), 32-37.
- Pantaleón-Bautista, X. (2011). *Análisis químico de las fragancias producidas por las orquídeas Prosthechea varicosa y Prosthechea karwinskii para la identificación de compuestos volátiles* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Dspace. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/3
- Pichersky, E. y Gershenzon, J. (2002). The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. *Current opinion in plant biology*, 5(3), 237-243.
- Piña, R. H. H. (2007). *Biología reproductiva de Opuntia microdasys (Lehm) Pfeiffer en el Desierto Chihuahuense* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM.

- Plants of the World Online. (2023). POWO. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <https://powo.science.kew.org/>
- Plowright, R. C. (1987). Corolla depth and nectar concentration: an experimental study. *Canadian Journal of Botany*, 65, 1011–1013.
- Punt, W., Hoen, P. P., Blackmore, S., Nilsson, S. y Le Thomas, A. (2007). Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143, 1–81.
- Pyke, G. H. y Waser, N. M. (1981). The production of dilute nectars by hummingbird and honeyeater flowers. *Biotropica*, 13, 260–270.
- R Core Team. 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Raguso, R. A. y Pellmyr, O. (1998). Dynamic Headspace Analysis of Floral Volatiles: A Comparison of Methods. *Oikos*, 81(2), 238-254.
- Ramírez, N. (1997). Biología reproductiva y selección de especies nativas para la recuperación de áreas degradadas: métodos y significado. *Acta Botanica Venezuelica*, 20(1), 43-66.
- Rathcke, B. y Lacey, E. P. (1985). Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16, 179-214.
- Razo-León, A. E. (2015). *Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) y sus interacciones con la flora en la Sierra de Quila, Tecolotlán, Jalisco* [Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara]. CUCBA. <http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5923>
- Rendón-Aguilar, B. y Bernal-Ramírez, L A. (2017). Las plantas arvenses: más que hierbas del campo. *Oikos*, 30-34.
- Rodríguez-Gironés, M. A. y Santamaría, L. (2004). Why are so many bird flowers red? *PLoS Biol.* 2, 1515-1519.
- Rodríguez-Peña, O. N. (2011). *Factores que definen la calidad del néctar de flores quiropterofílicas en el bosque caducifolio de Jalisco, México: La planta o las preferencias del polinizador?* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/90497>

- Rojas-Nossa, S. V. (2013). Asociación entre el robo de néctar y las características florales en una comunidad montana de los Andes colombianos. *Ecosistemas*, 22(2), 107-112.
- Rojas-Villegas, G. (2016). Palinología de especies de Asteraceae del Archipiélago de Juan Fernández. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 65, 265-277.
- Rosales, S. (2018). *Xochimilco*. INAFED.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM09DF/delegaciones/09013a.htm>
1
- Rzedowski, J. y Calderón de Rzedowski, G. (1985). Flora Fanerogámica del Valle de México. Vol. II, Dicotyledoneae. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.
- Rzedowski, J. y Calderón de Rzedowski, G. (1990). Flora Fanerogámica del Valle de México. Vol. III, Dicotyledoneae. Instituto de Ecología, A.C., Pátzcuaro Michoacán.
- Sandoval-Benítez, E. (2019). *Variación en la anatomía de estructuras secretoras de néctar en Salvia y su relación con los síndromes de polinización* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información.
https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000789661
- Sanjuan-Trejo, G., Mejía-Segovia, D. M. y Moreno, C. E. (2021). Ensamblajes de artrópodos asociados a los frutos de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) en dos localidades del valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923487. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3487>
- Shawl, A. S., Srivastava, S. K., Syamasundar, K. V., Tripathi, S. y Raina, V. K. (2002). Essential oil composition of *Achillea millefolium* L. growing wild in Kashmir, India. *Flavour and Fragrance Journal*, 17, 165–168. <https://doi.org/10.1002/ffj.1074>
- Solano-Pérez, Á. T. y Guzmán-Monroy, C. A. (2020). *Diversidad de plantas arvenses presentes en la granja La María de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y sus beneficios ecológicos Tunja- Boyacá* [Tesis de licenciatura, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia].
[https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3154/TGT_Diversidad_plantas_arvenses.pdf;jsessionid=B7EA0A0A889AAC28DEBF4435A13FF01?sequence=](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3154/TGT_Diversidad_plantas_arvenses.pdf;jsessionid=B7EA0A0A889AAC28DEBF4435A13FF01?sequence=1)
1

- Stanski, C., Fernandes de Souza-Nogueira, M. K. y Fernandes-Pinto da Luz, C. (2016). Palinología de especies de Asteraceae de utilidad medicinal para a região dos Campos Gerais, Ponta Grossa, PR, Brasil. *Hoehnea*, 43(3). <https://doi.org/10.1590/2236-8906-19/2016>
- Thompson, J. P. y Acevedo-Rodríguez, P. (2015). *Leonotis nepetifolia* (Christmas candlestick). CABI Digital Library. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendum.110266>
- Trujillo-Argueta, S. y del Castillo, R. F. (2013). Fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* una biznaga común de las zonas semiáridas de México. En Briones-Salas, M., González-Pérez, G. y Manzanero-Medina, G. (Eds.), *Ecología y conservación en zonas áridas de Oaxaca* (pp. 74-86). Carteles Editores P.G.O. Oaxaca de Juárez.
- Vaca-Urbe, J. L. (2019). *Diversidad de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios y su relación con variables a escala local y de paisaje* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69809>
- Valverde, P. L., Jiménez-Sierra, C. L., López-Ortega, G., Zavala-Hurtado, J. A., Rivas-Arancibia, S., Rendón-Aguilar, B., Pérez-Hernández, M. A., Cornejo-Romero, A. y Carrillo-Ruíz, H. (2015). Floral morphometry, anthesis, and pollination success of *Mammillaria pectinifera* (Cactaceae), a rare and threatened. *Journal of Arid Environments*, 116, 29-32. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.01.016>
- Vázquez, A. M. (2018). *Caracterización y evaluación de compuestos orgánicos volátiles presentes en especies vegetales de las familias Apiaceae, Asteraceae, Lamiaceae y Verbenaceae por microextracción en fase sólida del espacio de cabeza y su relación con la aceptabilidad sensorial de aquellas de uso alimenticio* [Tesis doctoral, Universidad Católica de Córdoba]. https://dialnet.unirioja.es/institucion/1036/buscar/tesis?querysDismax.DOCUMENTAL_TODO=Caracterizaci%C3%B3n+y+evaluaci%C3%B3n+de+compuestos+org

[%C3%A1nicos+vol%C3%A1tiles+presentes+en+especies+vegetales+de+las+familias+Apiaceae%2C+Asteraceae%2C+Lamiaceae+y+Verbenaceae+](#)

- Veerabadran, U., Venkatraman, A., Souprayane, A., Narayanasamy, M., Perumal, D., Elumalai, S., Sivalingam, S., Devaraj, V. y Perumal, A. (2013). Evaluation of antioxidant potential of leaves of *Leonotis nepetifolia* and its inhibitory effect on MCF7 and Hep2 cancer cell lines. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 3(2), 103-110. [https://doi.org/10.1016%2FS2222-1808\(13\)60053-5](https://doi.org/10.1016%2FS2222-1808(13)60053-5)
- Vibrans, H. (2009). *Tithonia tubiformis*. Malezas de México, CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tithoniatubiformis/fichas/ficha.htm>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Vit, P. (2004). Productos de la colmena recolectados y procesados por las abejas: Miel, polen y propóleos. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 35(2), 32-39.
- Waser, N. M., Chittka, L., Price, V., Williams, N. y Ollerton, J. (1996). Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*, 77, 1043-1060.
- Wilmer, P. (2011). *Pollination and floral ecology*. Princeton University Press, Princeton & Oxford.
- Wolkovich, E. M. y Cleland, E. (2011). The phenology of plant invasions: a community ecology perspective. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(5), 287-294.
- Zepeda-Gómez, C., Cruz-Muciño, E., Burrola-Aguilar, C. y Estrada-Zúñiga, M. E. (2020). Biología floral, visitantes florales y sistema reproductivo de *Nymphaea gracilis* ZUCC. (NYMPHAEACEAE). *Botanical Sciences*, 98(4), 499-515.
- Zimbrón-Romero J. R. (2011). El Popocatepetl como marcador solsticial en Milpa Alta y Xochimilco: Alineamiento de tres sitios prehispánicos el 21 o 22 de diciembre de cada año. Proyecto de investigación, conservación y restauración cultural y ecológica de los volcanes: INAH, ENAH.
- Zuluaga, J., Delgado, P., Padilla, S. y Quiñones, R. (2009). Estudio fenológico de tres especies de arvenses en la estación experimental del campus Nueva Granada, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá (Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 50-63.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00224

Matrícula: 2202800719

Biología floral y compuestos volátiles de tres especies de herbáceas en el Centro de Xochitepec, Xochimilco, Ciudad de México.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 12:00 horas del día 28 del mes de junio del año 2023 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

M. EN C. ANGÉLICA MARTÍNEZ BERNAL
DRA. ERIKA ARROYO PÉREZ
DRA. SILVIA LAURA GUZMÁN GUTIÉRREZ
DRA. MARÍA LORRAINE MATÍAS PALAFOX

Bajo la Presidencia de la primera y con carácter de Secretaría la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOLOGÍA

DE: PAOLA MENDOZA RIVAS



Paola
PAOLA MENDOZA RIVAS
ALUMNA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, la presidenta del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ

MTRA. ROSALÍA BERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CRS

DR. JOSÉ LUIS GÓMEZ OLIVARES

PRESIDENTA

M. EN C. ANGÉLICA MARTÍNEZ BERNAL

VOCAL

DRA. ERIKA ARROYO PÉREZ

VOCAL

DRA. SILVIA LAURA GUZMÁN GUTIÉRREZ

SECRETARIA

DRA. MARÍA LORRAINE MATÍAS PALAFOX