



---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

**UNIDAD IZTAPALAPA**

**DIVISIÓN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

**POSGRADO EN BIOLOGÍA**

**“Distribución e importancia socio-ecológica de cactáceas  
arbóreas de México”**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**MAESTRA EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA:**

**Biól. Susana López Torralba**

2212801371

susemm.22@gmail.com

**Directora de tesis**

Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra

**Asesor:**

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

**Asesora:**

Dra. María Loraine Matías Palafox

**Jurado:**

Presidente:

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Secretaria:

Dra. Claudia Ballesteros Barrera

Vocal:

Dr. Alberto Enrique Rojas Martínez

Vocal:

Dr. José Alberto Búrquez Montijo

Iztapalapa, Ciudad de México a 2 de octubre de 2024

La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Calidad del CONAHCyT. Agradezco al CONAHCyT por la beca No. 803219, que me fue otorgada para desarrollar mis estudios de maestría, que comprendió del periodo 2021-2023.

## Declaración de Originalidad

El (La) que suscribe **SUSANA LÓPEZ TORRALBA**, alumno (a) del posgrado **MAESTRÍA EN BIOLOGÍA**, de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y autor(a) de la tesis o idónea comunicación de resultados titulada: "**Distribución e importancia socio-ecológica de cactáceas arbóreas de México**",

Declaro que:

1. La tesis o idónea comunicación de resultados que presento ante el **Jurado** para lo obtención del grado de **Maestra en Biología** es de mi autoría y original creación, producto del resultado de mi trabajo de investigación personal e individual; el cual cuenta con las correspondientes citas textuales del material bibliográfico utilizado y con el debido otorgamiento de los créditos autorales.
2. En la tesis o idónea comunicación de resultados no he reproducido párrafos completos; ilustraciones, fotografías, diagramas, cuadros y tablas, sin otorgamiento del crédito autoral y fuente correspondiente.
3. En consecuencia, relevo de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma Metropolitana de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que se considere con derecho sobre la tesis o idónea comunicación de resultados, respondiendo por la autoría y originalidad de la misma, asumiendo todas las consecuencias económicas y jurídicas si ésta no fuese de mi creación.

La presente declaración de originalidad se firma en la Ciudad de México el **02** de **octubre** del **2024**.

Atentamente



---

Susana López Torralba

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

**Susana López Torralba**

El día 02 de octubre de 2024

### **Comité Tutorial y Jurado**

**Directora:** Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra\_\_\_\_\_

**Asesor y sinodal:** Dr. José Alejandro Zavala Hurtado\_\_\_\_\_

**Asesora:** Dra. María Loraine Matías Palafox\_\_\_\_\_

**Sinodal:** Dra. Claudia Ballesteros Barrera\_\_\_\_\_

**Sinodal:** Dr. Alberto Enrique Rojas Martínez\_\_\_\_\_

**Sinodal:** Dr. José Alberto Búrquez Montijo\_\_\_\_\_

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada para la realización de este estudio (No. De becario 803219).

A la Coordinación de la Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Iztapalapa, por el apoyo y financiamiento otorgado para congresos.

Al Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta, por su apoyo como coordinador de la Maestría en Biología.

A la Dra. Cecilia Leonor Jiménez Sierra, por todo su apoyo, enseñanzas, paciencia, orientación para realizar este proyecto, por las visitas a campo para conocer la distribución de las especies de esta investigación y sobre todo creer en mí y darme la oportunidad de seguir con mis estudios. ¡Mil gracias por todo!

Al Dr. José Alejandro Zavala Hurtado, por aceptar ser mi asesor y amablemente formar parte de mis sinodales, por sus valiosas sugerencias, comentarios y aportaciones hechas en esta investigación, así como su amabilidad y paciencia. ¡Gracias por todo!

A la Dra. María Loraine Matías Palafox, por aceptar ser mi asesora, por su amabilidad, apoyo constante, sugerencias y comentarios constructivos para llevar a cabo este trabajo. ¡Gracias por todo!

A la Dra. Claudia Ballesteros Barrera, por aceptar formar parte de mis sinodales, por su amabilidad, las clases brindadas en Temas Selectos I “Introducción a los Sistemas de

Información geográfica y Modelado de Nicho Ecológico”, por sus asesorías, comentarios, sugerencias y aportaciones hechas para este trabajo. ¡Gracias!

Al Dr. José Alberto Búrquez Montijo, por las clases brindadas en Ecología de Ecosistemas de Zonas Áridas y Semiáridas perteneciente al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, por amablemente aceptar formar parte de mis sinodales y por cada uno de sus comentarios constructivos para mejorar este trabajo.

Al Dr. Alberto Enrique Rojas Martínez, por aceptar formar parte de mis sinodales, por sus valiosas observaciones y comentarios hechos a este trabajo.

Al Dr. Gerardo Antonio Martín Muñoz de Cote, por sus asesorías y las clases brindadas en temas Selectos en Modelación de Nichos Ecológicos con Herramientas Alternativas, perteneciente al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

A la Dra. Angelina Martínez Yrizar y la Dra. Tonantzin Tarín Terrazas, por las clases brindadas en Temas Selectos Ecología de Ecosistemas de Zonas Áridas y Semiáridas, perteneciente al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por acompañarme en cada una de las etapas de mi vida y ponerme en mi camino a personas tan maravillosas que me guiaron a lo largo de mi carrera y llenaron de aprendizaje, experiencias y muchos momentos felices.*

*A mi familia, por todo su cariño y apoyo.*

*A mis compañeras de laboratorio Erika Arroyo, Ángeles González, Paola Mendoza y Dalia Segura por darme consejos, escucharme en tiempos difíciles, en especial por acompañarme en este camino de la Biología que nunca me dejará de sorprender y de la que siempre estaré aprendiendo.*

## Índice

Índice de figuras.....	10
Índice de tablas .....	13
Resumen .....	14
Abstract .....	16
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>24</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>5. HIPÓTESIS.....</b>	<b>26</b>
<b>6. OBJETIVOS.....</b>	<b>27</b>
<b>7. MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
7.1. Recopilación de las cactáceas arbóreas distribuidas en México.....	28
7.2. Selección de especies.....	28
7.3. Recopilación de la información ecológica y del valor socioeconómico de las especies seleccionadas .....	29
7.4. Estimación de la distribución de las especies de estudio.....	30
7.4.1. Modelos de distribución potencial de las especies de estudio .....	32
7.4.2. Estimación de la distribución mediante el método polígono mínimo convexo (PMC) de las especies de estudio.....	34
7.5. Cambio de uso de suelo en las áreas de distribución de las especies seleccionadas.	34
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
8.1. Inventario de cactáceas arbóreas de México .....	37
8.2. Descripción de las especies de estudio .....	50
8.2.1. <i>Cephalocereus senilis</i> (Haw.) Pfeiff.....	50
8.2.2. <i>Cephalocereus tetetzo</i> (F.A.C. Weber ex JMCoult.) Diguet.....	52
8.2.3. <i>Lophocereus marginatus</i> (DC.) S. Arias y Terrazas .....	54
8.2.4. <i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console .....	56
8.2.5. <i>Pachycereus militaris</i> (Audot) DRHunt.....	58
8.2.6. <i>Pachycereus pringlei</i> (S. Watson) Britton & Rose.....	60



8.2.7. <i>Stenocereus queretaroensis</i> (FACWeber ex Mathsson) Buxb. ....	62
8.3. Importancia ecológica.....	64
8.3.1. Datos ecológicos de las especies de estudio .....	67
8.4. Importancia socioeconómica.....	75
8.4.1. Comercio en línea.....	75
8.4.2. Decomisos de cactáceas en México .....	81
8.5. Distribución de las especies de estudio .....	83
8.6. Cambio de uso del suelo a través del tiempo.....	98
<b>9. DISCUSIÓN .....</b>	<b>110</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>128</b>
ANEXO 1. Especies de mamíferos, aves, artrópodos y reptiles reportados en la bibliografía como visitantes florales, polinizadores, consumidores del fruto y dispersores de semillas de las especies de estudio. ....	156
ANEXO 2. Variables utilizadas y perfil bioclimático de las especies de estudio. Se presentan los valores mínimos y máximos, así como el valor promedio y su desviación estándar para cada variable. ....	163
ANEXO 3. Matriz de transición 2001-2021 en las áreas de distribución (potencial y PMC) de las especies de estudio. ....	167

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Porcentaje de especies de cactáceas <b>arbóreas</b> recopiladas en diferentes fuentes electrónicas (N= 57). .....	41
<b>Figura 2.</b> Porcentaje de especies en alguna categoría de acuerdo con la UICN (N=57) (UICN: NE, no evaluado; DD, datos insuficientes; LC, preocupación menor; VU, vulnerable; EN, en peligro; CR, peligro crítico). .....	42
<b>Figura 3.</b> Diversidad de cactáceas <b>arbóreas</b> presentes por estado. ....	43
<b>Figura 4.</b> Usos de las cactáceas arbóreas de México (N=52). ....	44
<b>Figura 5.</b> Mapa de distribución por estado de las siete especies de estudio. ....	45
<b>Figura 6.</b> <i>Cephalocereus senilis</i> . a) Individuo adulto en Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo (Foto: S. López-Torralba), b) Flor en el cefalio de un individuo de <i>C. senilis</i> (Foto: M.L. Matías-Palafox) y c) Frutos secos (Foto: S. López-Torralba). ....	46
<b>Figura 7.</b> <i>Cephalocereus tetetzo</i> : a) Individuo adulto (Fuente: NaturaLista Bautista S.), b) Flor de un individuo de <i>C. tetetzo</i> (Foto: Carrillo Carbajal M.A.) y c) Frutos en crecimiento (Foto: Vásquez A.). ....	50
<b>Figura 8.</b> <i>Lophocereus marginatus</i> : a) Individuo adulto (Fuente: NaturaLista Amante Darmanin), b) Flor de un individuo (Foto: Carrillo Carbajal M.A.) y c) Fruto (Ilustrado por Anabel Duarte). ....	52
<b>Figura 9.</b> <i>Myrtillocactus geometrizans</i> : a) Individuo adulto (Fuente: NaturaLista González Claudia), b) Flor de un individuo adulto (Foto: Carrillo Carbajal M.A.) y c) Frutos (Mendiola González E.). ....	54
<b>Figura 10.</b> <i>Pachycereus militaris</i> : a) Individuo adulto (Fuente: NaturaLista Joseph Scheer), b) Flor en cefalio (Tomado de Cattabriga, 2004) y c) Frutos (Tomado de Arias y Terrazas, 2008). ....	56
<b>Figura 11.</b> <i>Pachycereus pringlei</i> : a) Individuo adulto en Área Natural Protegida Valle de los Cirios (Baja California), b) Flor, c) Corte longitudinal de una flor (Foto: S. López-Torralba) y d) Frutos (Foto por Mendiola González E.). ....	58
<b>Figura 12.</b> <i>Stenocereus queretaroensis</i> . a) Individuo adulto (Foto por Álvarez Ruiz J.A.), b) y c) Flor (Foto por Álvarez Ruiz J.A.) y c) Frutos en maduración con restos del perianto (Foto por Roberto, NaturaLista). ....	60
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de trabajos publicados de 1990 – 2022 por especie (N=327 reportes científicos). ....	61
<b>Figura 14.</b> Número de visitantes florales y polinizadores reportados en la literatura para las siete especies de cactáceas arbóreas. ....	62

<b>Figura 15.</b> Número acumulado de consumidores del fruto y dispersores de semillas de las especies de estudio. ....	63
<b>Figura 16.</b> Porcentaje de anuncios de comercio en línea por especie de cactáceas (N=652). ....	72
<b>Figura 17.</b> Plataformas digitales y porcentaje de anuncios por especies de cactácea <b>arbórea</b> (N=652). ....	73
<b>Figura 18.</b> Porcentaje de anuncios de venta de cactáceas en línea por País. El (* indica países que no hacen envíos a México). ....	74
<b>Figura 19.</b> Porcentaje de anuncios en línea por estado en México. El (*, ** representa los estados con lugar de origen de venta de cinco y cuatro especies de cactáceas <b>arbóreas</b> , respectivamente). ....	75
<b>Figura 20.</b> Porcentaje de anuncios de comercio en línea de ejemplares, partes o derivados por especie de cactácea arbórea (N=652). ....	76
<b>Figura 21.</b> Porcentaje de decomisos por especie de cactácea de 1997 – 2022 (N= 6811)..	78
<b>Figura 22.</b> Número acumulado de decomisos por especie de cactácea <b>arbórea</b> . ....	79
<b>Figura 23.</b> Número de registros acumulados para las siete especies de cactáceas arbóreas a partir de la primera década de recolecta: a) <i>Cephalocereus senilis</i> , b) <i>Cephalocereus tetetzo</i> , c) <i>Lophocereus marginatus</i> , d) <i>Myrtillocactus geometrizans</i> , e) <i>Pachycereus militaris</i> , f) <i>Pachycereus pringlei</i> y g) <i>Stenocereus queretaroensis</i> . ....	82
<b>Figura 24.</b> Distribución geográfica de <i>Cephalocereus senilis</i> . Registros de la especie de 1905 a 2021. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (NaturaLista). ....	83
<b>Figura 25.</b> Distribución geográfica de <i>Cephalocereus tetetzo</i> . Registros de la especie de 1919 a 2021. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (NaturaLista). ....	84
<b>Figura 26.</b> Distribución geográfica de <i>Lophocereus marginatus</i> . Registros de la especie de 1990 a 2020. Puntos rojos (colecciones científicas) y verde (NaturaLista). ....	85
<b>Figura 27.</b> Distribución geográfica de <i>Myrtillocactus geometrizans</i> . Registros de la especie de 1891-2020. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (NaturaLista). ....	86
<b>Figura 28.</b> Distribución geográfica de <i>Pachycereus militaris</i> . Registros de la especie de 1934 a 2021 de la especie. Puntos rojos (colecciones científicas) y verde (NaturaLista). ....	87
<b>Figura 29.</b> Distribución geográfica de <i>Pachycereus pringlei</i> . Registros de la especie de 1884 a 2020. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (NaturaLista). ....	88

<b>Figura 30.</b> Distribución geográfica de <i>Stenocereus queretaroensis</i> . Registros de la especie de 1899 a 2020. Puntos rojos (colecciones científicas) y verde (NaturaLista). .....	89
<b>Figura 31.</b> Área de distribución potencial (valores cercanos a 1 indican alta probabilidad de presencia) y área de distribución mediante el polígono mínimo convexo (PMC) por especie <b>a)</b> <i>Cephalocereus senilis</i> , <b>b)</b> <i>Cephalocereus tetetzo</i> , <b>c)</b> <i>Lophocereus marginatus</i> , <b>d)</b> <i>Myrtillocactus geometrizans</i> , <b>e)</b> <i>Pachycereus militaris</i> , <b>f)</b> <i>Pachycereus pringlei</i> y <b>g)</b> <i>Stenocereus queretaroensis</i> . Los puntos negros indican los registros de presencia de la especie. ....	93
<b>Figura 32.</b> Mapas de cambio de uso de suelo 2001-2021 en las áreas de distribución de las especies de estudio. A la izquierda, áreas de distribución potencial y, a la derecha, áreas de distribución con el polígono mínimo convexo. ....	101
<b>Figura 33.</b> Número de registros de las especies de cactáceas arbóreas de estudio por categoría de uso de suelo y vegetación en 2001 y 2021. ....	106
<b>Figura 34.</b> Porcentaje de registros de las especies de cactáceas de estudio en sitios de distribución conservada o perturbada en 2001 y 2021. ....	107

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Variables bioclimáticas consideradas para los perfiles bioclimáticos y la elaboración de los modelos de distribución potencial (Cuervo-Robayo et al., 2013). .....	29
<b>Tabla 2.</b> Temporalidad de los datos de cada serie del uso de suelo y Vegetación INEGI..	32
<b>Tabla 3.</b> Categorías de uso de suelo y vegetación de las series II y VII. ....	33
<b>Tabla 4.</b> Listado de especies de cactáceas <b>arbóreas</b> con su estatus de conservación y distribución geográfica por estados (en negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio, ** especies prioritarias para la conservación). ....	35
<b>Tabla 5.</b> Especies <b>arbóreas</b> presentes en México, se señala su nombre común, usos y fuentes bibliográficas (en negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio, **especies prioritarias para la conservación). ....	38
<b>Tabla 6.</b> Características generales de las especies seleccionadas para este estudio. ....	46
<b>Tabla 7.</b> Precio en línea de las siete especies de cactáceas arbóreas, durante el periodo marzo 2022 a febrero 2023. En semillas el precio es por sobres con 10 unidades. Plantas a raíz desnuda, maceta y esqueje se muestran los valores mínimos y máximos, ya que los precios varían de acuerdo con el tamaño y la temporada. Todos los precios se muestran en MXN..	77
<b>Tabla 8.</b> Número de registros de recolecta de las siete especies de cactáceas arbóreas. ....	81
<b>Tabla 9.</b> Variables bioclimáticas y su contribución relativa para el modelo de distribución potencial por especie. En negritas se presentan las variables con mayor contribución en el modelo de distribución. (Los nombres de las variables se encuentran en la Tabla 1). ....	90
<b>Tabla 10.</b> Número de puntos de presencia, AUC (Área bajo la curva) del modelo y variables con mayor contribución al modelado por especies. ....	91
<b>Tabla 11.</b> Estimación del área de distribución mediante el uso del polígono convexo mínimo (PMC) y el modelo de distribución potencial sin considerar el cambio de uso de suelo para las especies estudiadas. ....	92
<b>Tabla 12.</b> Área de distribución conservada y perdida para cada especie en la distribución potencial para el 2001. ....	97
<b>Tabla 13.</b> Áreas de permanencia y cambio en la distribución potencial de las especies de estudio durante el periodo 2001-2021. ....	97
<b>Tabla 14.</b> Área conservada e idónea de 2001 y 2021 en la distribución potencial por especie. ....	98
<b>Tabla 15.</b> Área de distribución conservada y perdida para cada especie dentro del polígono mínimo convexo para el 2001. ....	99
<b>Tabla 16.</b> Áreas de permanencia y cambio en las áreas de distribución con el polígono mínimo convexo por especie durante el periodo 2001-2021. ....	99
<b>Tabla 17.</b> Área conservada e idónea de 2001 y 2021 en el área de distribución con el polígono mínimo convexo por especie. ....	100

## Resumen

Este trabajo fue realizado durante la cuarentena de COVID 2020-2022 y es una recopilación y análisis de la información en línea: bibliográfica, colecciones científicas y bases de datos (SNIB, GBIF y NaturaLista, INAI). Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Recopilar la información sobre las cactáceas arbóreas de México (distribución geográfica y usos); 2) Puntualizar el avance en el conocimiento de la biología, ecológica e importancia socioeconómica de las especies: *Cephalocereus senilis*, *Cephalocereus tetetzo*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Lophocereus marginatus*, *Pachycereus militaris*, *Pachycereus pringlei* y *Stenocereus queretaroensis*; 3) Presentar la distribución de estas especies con modelos de distribución potencial y el método del polígono mínimo convexo (PMC) y 4) Evaluar los cambios a través del tiempo en el uso del suelo y vegetación de las áreas de distribución de dichas especies. La recopilación bibliográfica consideró un periodo de 32 años (de 1990 a 2022). La importancia del comercio de las cactáceas seleccionadas se estimó a través de la consulta de sitios de venta en línea y del registro de decomisos (PROFEPA). Los modelos de distribución potencial de las especies seleccionadas se realizaron con ayuda del programa MaxEnt y para la elaboración de los PMC se empleó el programa ArcMap 10.5. Se compararon los mapas de uso de suelo y vegetación INEGI Serie II (2001) y VII (2021) de las áreas de distribución (potencial y PMC) de las especies seleccionadas. Se obtuvo que, de las 57 especies de cactáceas arbóreas nativas de México, el 61.4% son columnares y el 38.6% son candelabrifórmes. El 18% se encuentran en alguna categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010) y 21% están en la Lista Roja de la UICN. El 68% de las especies tiene usos múltiples, entre ellos: alimenticio, medicinal, forrajero, para la construcción, combustible y ornamental. Se encontraron 327 trabajos científicos relacionados con las especies seleccionadas. Las especies con más reportes son: *M. geometrizans* 25%; *P. pringlei* 23%; *S. queretaroensis* 20% y *C. tetetzo* 20%, contrastando con *C. senilis* 4% de reportes y *P. militaris* 3%. Existen al menos 652 sitios de venta en línea de las siete cactáceas seleccionadas a nivel mundial. *Myrtillocactus geometrizans* es la especie más promocionada (34.2% de los anuncios), seguida por *L. marginatus* (17.5%); *P. pringlei* (15.8%); *C. senilis* (14.6%) y *S. queretaroensis* (10.7%) y en menor cantidad *C. tetetzo* (6.7%) y *P. militaris*

(0.5%). Las estructuras más comercializadas son semillas (32%). Solo el 43% (281) de los promocionales son de México y los principales promocionales extranjeros son de USA, seguido por España y Australia. El modelo de distribución potencial estimó áreas de distribución más amplias que el PMC. Sin embargo, esto no ocurrió para *M. geometrizzans* ya que es una especie con una muy amplia distribución y este método es altamente sensible a las observaciones periféricas. Se encontró una tendencia a la disminución de las áreas de cobertura conservadas en la distribución potencial y PMC al comparar el uso de suelo y vegetación de 2001 y 2022 para *M. geometrizzans*, *L. marginatus*, *P. pringlei* y *S. queretaroensis* y al incremento para *C. senilis*, *C. tetetzo* y *P. militaris*. A pesar de que México es el país con mayor diversidad de cactáceas columnares, es un foco rojo por la cantidad de especies en riesgo (SEMARNAT y UICN). Se cuenta con una buena información científica sobre algunas especies, pero existen pocos estudios para *C. senilis* y *P. militaris* (ambas especies en riesgo y con distribución restringida). Las cactáceas arbóreas tienen demanda comercial a nivel mundial, no obstante, gran parte de este mercado es surtido por empresas extranjeras, lo cual puede deberse a complicaciones legales para la producción de cactáceas en riesgo dentro de México. Existe una heterogeneidad en el área de distribución de las especies por lo cual las medidas de conservación deben ajustarse a los requerimientos ecológicos particulares de cada una de ellas. Las especies con tendencia a la disminución en su área de distribución (potencial y PMC) se debe principalmente al aumento de zonas agrícolas y asentamientos humanos. Las especies con tendencia al incremento del área conservada tienen una distribución reducida donde quizás las medidas de protección han sido adecuadas. Las cactáceas arbóreas son de gran importancia para los ecosistemas y proveen recursos para la fauna y las poblaciones locales por lo cual es importante realizar esfuerzos para su conocimiento, uso sustentable y conservación.

**Palabras clave:** cactáceas arbóreas, distribución geográfica potencial, importancia ecológica, comercio en línea, decomisos, cambio de uso del suelo.

## Abstract

This work was carried out during the 2020-2022 COVID quarantine and is a compilation and analysis of online information: bibliographic, scientific collections and databases (SNIB, GBIF and NaturaLista, INAI). The objectives of this work were: 1) To compile information on the arboreal cacti of Mexico (geographic distribution and uses); 2) To specify the progress in the knowledge of the biology, ecology and socioeconomic importance of the species: *Cephalocereus senilis*, *Cephalocereus tetetzo*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Lophocereus marginatus*, *Pachycereus militaris*, *Pachycereus pringlei* and *Stenocereus queretaroensis*; 3) Present the distribution of these species with potential distribution models and the minimum convex polygon (MCP) method and 4) Evaluate the changes over time in land use and vegetation in the distribution areas of these species. The bibliographic collection considered a period of 32 years (from 1990 to 2022). The importance of trade in the selected cacti was estimated through the consultation of online sales sites and the seizure registry (PROFEPA). The potential distribution models of the selected species were made with the help of the MaxEnt program and the ArcMap 10.5 program was used to prepare the MCP. The INEGI Series II (2001) and VII (2021) land use and vegetation maps of the distribution areas (potential and MPC) of the selected species were compared. It was found that, of the 57 species of arboreal cacti native to Mexico, 61.4% are columnar and 38.6% are candelabrian. 18% are in some risk category (NOM-059-SEMARNAT-2010) and 21% are on the IUCN Red List. 68% of the species have multiple uses, including: food, medicinal, fodder, construction, fuel and ornamental. 327 scientific works related to the selected species were found. The species with the most reports are: *M. geometrizans* 25%; *P. pringlei* 23%; *S. queretaroensis* 20% and *C. tetetzo* 20%, contrasting with *C. senilis* 4% of reports and *P. militaris* 3%. There are at least 652 online sales sites for the seven selected cacti worldwide. *Myrtillocactus geometrizans* is the most promoted species (34.2% of the ads), followed by *L. marginatus* (17.5%); *P. pringlei* (15.8%); *C. senilis* (14.6%) and *S. queretaroensis* (10.7%) and to a lesser extent *C. tetetzo* (6.7%) and *P. militaris* (0.5%). The most marketed structures are seeds (32%). Only 43% (281) of the promotions are from Mexico and the main foreign promotions are from the USA, followed by Spain and Australia. The potential distribution



model estimated wider distribution areas than the PMC. However, this did not occur for *M. geometrizzans* as it is a species with a very wide distribution and this method is highly sensitive to peripheral observations. A tendency towards a decrease in the areas of conserved coverage in the potential distribution and MCP was found when comparing the land use and vegetation of 2001 and 2022 for *M. geometrizzans*, *L. marginatus*, *P. pringlei* and *S. queretaroensis* and an increase for *C. senilis*, *C. tetetzo* and *P. militaris*. Although Mexico is the country with the greatest diversity of columnar cacti, it is a red zone due to the number of species at risk (SEMARNAT and IUCN). There is good scientific information on some species, but there are few studies for *C. senilis* and *P. militaris* (both species at risk and with restricted distribution). Arboreal cacti have a commercial demand worldwide, however, a large part of this market is supplied by foreign companies, which may be due to legal complications for the production of cacti at risk within Mexico. There is heterogeneity in the distribution area of the species, so conservation measures must be adjusted to the particular ecological requirements of each one of them. The species with a tendency to decrease in their distribution area (potential and MCP) is mainly due to the increase in agricultural areas and human settlements. The species with a tendency to increase the conserved area have a reduced distribution where perhaps the protection measures have been adequate. The arboreal cacti are of great importance for the ecosystems and provide resources for the fauna and the local populations, so it is important to make efforts for their knowledge, sustainable use and conservation.

**Key words:** arboreal cacti, potential geographic distribution, ecological importance, online commerce, seizures, land use change.

## 1. INTRODUCCIÓN

La familia Cactaceae es originaria del Continente Americano y se distribuye principalmente en las regiones áridas y semiáridas (Anderson, 2001; Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991a y 1991b). México es el país con mayor riqueza de estas plantas, con 913 taxones, de los cuales 724 son endémicos y 269 se encuentran en alguna categoría de riesgo de extinción (Guzmán et al., 2003; Jiménez-Sierra, 2011; SEMARNAT, 2010). Las especies de esta familia, por su hábito de crecimiento pueden dividirse, *sensu* Vázquez-Sánchez et al., (2012) en: a) arbóreas (con formas de crecimiento columnar y candelabroiforme) y b) arbustivas (con formas de crecimiento cespitosa, globosa, globosa deprimida o cilíndrica). Las cactáceas arbóreas tienen una gran importancia ecológica pues son elementos sobresalientes en la estructura y la dinámica de las comunidades de las zonas semidesérticas. Su importancia se debe a que: a) ofrecen refugio y hábitat a muchos organismos, como pequeños mamíferos (roedores), aves, reptiles y un gran número de artrópodos; b) son recursos alimenticios para aves, murciélagos y otros mamíferos pequeños, así como para una gran variedad de artrópodos que se alimentan de sus flores y frutos, y que a su vez constituyen vectores de dispersión del polen y las semillas; c) son fijadoras del suelo y evitan la erosión (Flores y Macías, 2008); d) ayudan en la captación de agua y su infiltración en los suelos y son elementos importantes en la formación de islas de fertilidad y en la dinámica que se da a nivel de la comunidad en las zonas semidesérticas (Jiménez-Sierra, 2011) y e) representan un reservorio importante de carbono en los ecosistemas desérticos (Garvie 2003; Buckland et al., 2023). Desde el punto de vista socioeconómico las cactáceas arbóreas son recursos importantes para los habitantes de las

zonas semidesérticas, ya que de ellas se obtienen recursos alimenticios (flores y frutos), medicinales, forrajeros, material para artesanías y para la construcción (Casas y Barbera, 2002; Casas, 2002; Fuentes y Jiménez-Sierra, 2007, entre otros). Las especies candelabrifformes se caracterizan por tener un tallo principal bien definido y una ramificación mesotónica, dando como resultado una forma similar a la de un candelabro de mesa cuyas ramas pueden cubrir extensas áreas. Entre las especies candelabrifformes de México se encuentran: *Escontria chiotilla* (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Rose, *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console, *Myrtillocactus schenckii* (J.A. Purpus) Britton & Rose, *Lemaireocereus hollianus* (F.A.C. Weber in J.M. Coult.) Britton & Rose, *Pachycereus weberi* (J.M. Coult.) Backeb, *Polaskia chichipe* (Rol-Goss.) Backeb, *Stenocereus chrysocarpus* (Sánchez-Mej), *Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber ex Mathes.) Buxb. *Stenocereus quevedonis* (J.G. Ortega) Buxb, *Stenocereus martinzii* (J.G. Ortega) Buxb, *Stenocereus chacalapensis* (Bravo & T. MacDoug.) Buxb y *Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Riccob, (Casas, 2002). En este grupo de plantas se encuentran especies que producen frutos comestibles (pitaya, pitaya queretana, garambullo y jiotilla, entre otras) su crecimiento es relativamente rápido, llegan a alcanzar entre 2 y 8 m de altura y la mayoría de ellas presenta capacidad para reproducirse vegetativamente, lo que ha favorecido su uso, manejo y en algunos casos también su dispersión antropogénica (Casas y Barbera, 2002). Algunas especies de este grupo han seguido un proceso incipiente de domesticación en el cual se favorecen algunas características deseadas como son el tamaño, color y sabor de sus frutos (Casas et al., 2003; Casas y Barbera, 2002). En lo que se refiere a las cactáceas columnares, en México se cuenta con 22 especies, algunas de las cuales pueden alcanzar hasta 15 m de

altura. Dentro de este grupo se encuentran: *Cephalocereus columna-trajani* (Karw.) K. Schum, *Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff, *Cephalocereus nizandensis* (Bravo & T.MacDoug.) F.Buxb, *Cephalocereus tetetzo* (F.A.C. Weber ex K.Schum), *Lophocereus marginatus* (DC.) S. Arias y Terrazas, y *Pachycereus militaris* (Audot) D.R.Hunt (Casas et al., 1999). Estas plantas presentan un crecimiento vegetativo lento y su reproducción, generalmente, comienza varias décadas después de su germinación. La mayoría de ellas no presentan propagación vegetativa y no son cultivadas, aunque algunas son aprovechadas como plantas de ornato (Casas et al., 2002). Muchos ejemplares de estas especies al no ser cultivadas están sujetas a extracciones directas de su ambiente. Esto, junto a su limitada distribución y endemismo, ha reducido sus poblaciones, lo que afecta a la dinámica de las comunidades, ya que son recursos alimenticios para especies de aves, murciélagos e insectos (Flores y Macias, 2008; Jiménez-Sierra, 2011). Además, su desaparición tendría un fuerte impacto socioeconómico en las comunidades locales ya que de ellas sus habitantes obtienen productos de autoconsumo y para su comercialización (Casas, 2002; Bárcenas, 2006).

### **Modelos de distribución de especies**

El área de distribución es considerada como el espacio geográfico habitado por una especie (Grinnell, 1917, Zunino y Palestrini, 1991, Soberón, 2007). En la práctica, evaluar este espacio es mucho más complejo dado los múltiples procesos que definen la presencia de las especies, como son la dispersión, las condiciones ambientales y el ambiente biótico (Guisan y Thuiller, 2005). Además, las actividades humanas constantemente modifican las áreas de distribución de las especies, creando y destruyendo el hábitat, estableciendo barreras o corredores y transportando accidental o voluntariamente a las especies a nuevos lugares

(Meza-Rangel et al., 2014; CONABIO, 2023). Sin embargo, caracterizar y obtener el mapa de distribución de una especie es esencial para el estudio de los patrones de distribución de la biodiversidad, proporcionan información valiosa para la evaluación de la biodiversidad y son la base para el establecimiento de estrategias de conservación (Lamoureux et al., 2006, Myers et al., 2000).

En las últimas décadas se ha producido un avance muy importante en los métodos para evaluar el rango de distribución de las especies como lo son el Polígono Mínimo Convexo (PMC) (Mota-Vargas y Rojas-Soto, 2012) y los modelos de distribución potencial (Scott et al. 2002).

El PMC es ampliamente usado como criterio para establecer las categorías de conservación por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), a través de un método conocido tradicionalmente como extensión de presencia (Criterio B) (UICN, 2024). Este método PMC permite determinar la distribución espacial basada en el conjunto de puntos exteriores que representan la localización de los individuos, los cuales son conectados a través de líneas para formar un polígono en el que ningún ángulo interno exceda  $180^\circ$  (Burt, 1943; Rapoport, 1975; Kie et al., 1996; IUCN, 2024). Aunque el cálculo del PMC es muy intuitivo, este método es sensible a las observaciones periféricas (Seminoff et al., 2022).

En cambio, el modelado de distribución potencial se basa en el concepto de nicho ecológico (Leal-Nares et al., 2012). Según Hutchinson (1957) el **nicho ecológico** de cualquier especie se puede representar cuantitativamente en términos de un hipervolumen n-dimensional de las variables bióticas y abióticas requeridas para la supervivencia,

crecimiento y reproducción de una especie (Anderson et al., 2003). Este nicho ecológico, cuando se enfoca en factores bióticos (ej. uso de recursos, competidores y depredadores) se le conoce como nicho Eltoniano, mientras que el nicho Grinelliano se refiere a la serie de condiciones ambientales que favorecen el crecimiento poblacional de una especie (Soberón, 2007).

Por otro lado, los modelos de nicho ecológico dependen de los conceptos: **nicho fundamental** o potencial, que se refiere a las condiciones ambientales necesarias para que una especie pueda vivir, mientras que el **nicho realizado o efectivo** es el espacio ecológico y geográfico donde la especie en efecto vive en presencia de otros factores bióticos (competidores y depredadores) (Hutchinson, 1957; Kearney, 2006 Soberón et al., 2017).

En los últimos años se han desarrollado varios programas para realizar modelos de nicho ecológico, como Bioclim (Nix, 1986), GARP (Stockwell y Peters, 1999) y MaxEnt (Phillips et al., 2004). El programa MaxEnt es un software que funciona según el principio de máxima entropía (la explicación estadísticamente más cercana a ser uniforme) para el modelado de distribución de especies y ha dado buenos resultados en trabajos previos de modelado de nicho ecológico y distribución de especies (Elith et al., 2011; Yañez-Arenas et al., 2012, Srivastava et al., 2020).

Este programa utiliza los registros de presencia georreferenciados de una especie, obtenidos de colecciones científicas, museos, investigaciones de campo (Beck et al., 2014), bases de datos de ciencia ciudadana (Wood et al., 2011; Castro-Bastidas et al., 2022) y variables ambientales para determinar la probabilidad de distribución de una especie en un píxel dado, de manera porcentual (Srivastava et al., 2020). Por lo tanto, esta herramienta

permite analizar la relación entre las variables ambientales (climáticas) y la presencia de una especie en sitios determinados dentro de un área (región de fondo, background) (Segurado y Araújo, 2004). Obteniendo de esta forma el área de distribución potencial de una especie (Peterson et al., 2002). Este método tiene ventaja sobre otras técnicas que requieren datos de ausencia de la especie para obtener buenos resultados. (Elith et al., 2011).

Por lo cual, los modelos de distribución potencial pueden ser utilizados para determinar sitios adecuados para la reintroducción de especies (Johnson et al., 2007), servir de guía para dirigir el trabajo de campo hacia sitios específicos para verificar si se encuentra la especie (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004) y evaluar cambios de uso de suelo (Peterson et al., 2006; Contreras-Medina et al., 2010), que implican la transformación de los ambientes naturales en zonas agropecuarias, mineras y urbanas impactando la distribución y densidad de las poblaciones y para el caso particular de este estudio de las cactáceas (Velázquez et al. 2002; Arias et al., 2005; Jiménez-Sierra, 2011; Goettsch et al., 2015). El cambio de uso de suelo conduce a una reducción o pérdida de la productividad económica y de la complejidad de los ecosistemas terrestres (suelo, vegetación y otros componentes bióticos) y afecta los procesos ecológicos, biogeoquímicos e hidrológicos (Reynolds et al., 2005), propiciando la degradación del suelo que es la disminución de la capacidad actual y potencial para producir bienes o prestar servicios (Granados-Sánchez et al., 2013), así como la desertificación, definida como la degradación de la tierra en zonas áridas y semiáridas (Reynolds et al., 2005).

Por lo cual, al ser las cactáceas arbóreas, elementos importantes dentro de los ambientes áridos de México debido a su biomasa y fisonomía, es importante conocer su área

de distribución y el impacto que los cambios de uso de suelo han tenido sobre su distribución espacial.

## **2. ANTECEDENTES**

Aquí se presenta una recopilación de los trabajos realizados con relación a la distribución geográfica de diversas especies de cactáceas en nuestro país.

Bravo-Hollis (1978) y Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991a y 1991b) son los pioneros en el estudio de las cactáceas de México y de su distribución. Más recientemente Guzmán et al., (2003) en su libro “Catálogo de Cactáceas Mexicanas” presentan una revisión de la distribución de las cactáceas señalando las entidades federativas donde éstas han sido reportadas.

Además, se cuenta con estudios de la distribución de cactáceas en regiones más específicas como: 1) El “Catálogo de la Flora de Tehuacán” (Arias et al., 2012) para la reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán; 2) Los trabajos de Hernández y Bárcenas (1995, 1996); Glass (1998); Lebgue y Quintana (2010) y Aguirre-Prieto (2016) sobre la distribución de las cactáceas en el desierto chihuahuense, o 3) El trabajo de Martínez-Ávalos y Jurado (2005) sobre las cactáceas de Tamaulipas.

También existen estudios sobre la distribución de algunas cactáceas (*Ferocactus histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. perezdelarosae*) en el estado de Aguascalientes, mediante el modelado de nicho (Meza-Rangel et al., 2014).

Además, se cuenta con patrones de distribución de algunos géneros de cactáceas como *Hylocereus* (García-Rubio et al., 2015) y *Ferocactus*, donde para este último género



se evaluó el efecto del cambio de uso de suelo en su área de distribución, así como el área de distribución resguardada dentro de alguna Área Natural Protegida, encontrándose que el hábitat perdido es superior para las especies que se encuentran en el centro de México en comparación con las que habitan en la península de Baja California, y que la representatividad de la mayoría de las especies en Áreas Naturales Protegidas es baja (Ballesteros-Barrera et al., 2017).

En lo que se refiere a trabajos realizados sobre cactáceas columnares se puede citar el trabajo de Flores-Monter et al., (2011) donde se determinó la importancia de 15 variables: topográficas, geológicas, edáficas, climáticas y de vegetación sobre la distribución de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus*, encontrando que la geología y las temperaturas máximas y mínimas, son de especial importancia para la primera especie, mientras que la altitud y la precipitación en la época seca son determinantes para la segunda especie.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la importancia socioeconómica que las cactáceas arbóreas tienen para las poblaciones humanas y del papel ecológico que éstas juegan en la dinámica de los ambientes donde se encuentran (Pimienta-Barrios y del Castillo, 2002; Godínez-Álvarez et al., 2003), es importante realizar una recopilación de la información existente y determinar si los cambios en el uso del suelo están afectando su distribución. Esta información es fundamental para sugerir e implementar estrategias para su conservación (Byun et al., 2005; Jianchu et al., 2005).

En esta tesis, se recopilan los datos existentes sobre la distribución geográfica y los usos reportados de las cactáceas arbóreas de México, y enfocándose en siete especies selectas, se recopila la información ecológica y socioeconómica existente sobre ellas. Para ello, se realizó una investigación sobre el comercio existente en línea, así como de los decomisos de ejemplares. Se analiza la distribución geográfica de dichas especies (ejemplares de herbario y bases de datos en línea) a través de modelos de distribución potencial y método polígono mínimo convexo así, como el impacto que los cambios de uso de suelo han tenido en el tiempo (evaluados a través de SIG).

#### **4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son las cactáceas arbóreas presentes en México y cuáles son sus usos reportados?

Y para **siete especies de cactáceas arbóreas** seleccionadas:

1. ¿Qué se conoce sobre su ecología e importancia socioeconómica?
2. ¿Cómo es su distribución geográfica conocida, potencial y de Polígono Mínimo Convexo?
3. ¿Cómo ha sido el cambio de uso de suelo en la distribución de estas especies?

#### **5. HIPÓTESIS**

Si la distribución de las cactáceas estudiadas es afectada de manera significativa por el cambio de uso del suelo, entonces se espera detectar cambios en las áreas en donde se puedan establecer estas especies.

## **6. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Revisar el inventario de cactáceas arbóreas que habitan en México y para siete especies seleccionadas de este grupo, puntualizar su relevancia desde el punto de vista ecológico y socioeconómico; presentar el mapa de su área de distribución geográfica conocida, potencial y Polígono Mínimo Convexo, así como evaluar los cambios de uso de suelo de las áreas de distribución de estas especies.

### **Objetivos específicos**

1. Recabar la información sobre la distribución y los usos reportados de las cactáceas arbóreas de México.

#### **Para siete especies de este grupo:**

1. Recabar la información existente sobre su importancia ecológica y socioeconómica.
2. Elaborar los mapas de su distribución geográfica conocida, potencial y de Polígono Mínimo Convexo (PMC).
3. Cuantificar los cambios de la cubierta vegetal y del uso de suelo del área de distribución de dichas especies a través del tiempo (2001 a 2021).

## **7. MÉTODOS**

### **7.1. Recopilación de las cactáceas arbóreas distribuidas en México**

Para obtener el listado general de las cactáceas arbóreas de México, se partió de la consulta de Bravo-Hollis, (1978); Gibson y Horack, (1978); Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, (1991); Guzmán et al., (2003) y Arias et al., (2012); además utilizando Google Académico y Scopus, se actualizaron datos sobre su distribución y de sus usos. La información recopilada se condensó en una tabla de Excel® anotando: nombre de la especie, nombre común, forma de crecimiento, distribución, estatus de conservación y uso.

### **7.2. Selección de especies**

Se seleccionaron siete especies a partir del inventario obtenido de las cactáceas arbóreas que habitan en México, procurando incluir: a) especies con diversas formas de crecimiento, es decir, columnares y candelabroiformes; b) con contrastantes amplitudes de distribución geográfica, es decir, con amplia distribución y especies endémicas o de distribución restringida; c) con diversa importancia socioeconómica (uso del recurso) y, d) con diversos estatus de conservación considerando lo señalado a nivel nacional (Nom-059-SEMARNAT-2010) y a nivel internacional: Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES).

### **7.3. Recopilación de la información ecológica y del valor socioeconómico de las especies seleccionadas**

#### **Información ecológica de las especies**

- Se revisó la información bibliográfica disponible de 1990 a 2022 sobre la biología y ecología de las especies seleccionadas utilizando los buscadores Google Académico y Scopus, con las palabras clave: hábitat, longevidad, tasas de crecimiento, fenología, estrategias de reproducción y relación de la planta con otros organismos (competidores, polinizadores y dispersores). La información se organizó con los programas Zotero y Excel.

#### **Valor socioeconómico de las especies**

- Se revisó la información bibliográfica disponible sobre los usos y el comercio de las especies seleccionadas (ejemplares, flores, frutos, semillas y estructuras vegetativas). Para esto se consultaron páginas de comercio en línea sobre cactáceas durante el periodo marzo 2022 a febrero 2023. Con los datos obtenidos se realizó una matriz con el registro del nombre de la especie, la página de internet, el tipo de ejemplar a la venta, el precio, el lugar de origen del producto y otras observaciones (restricciones de envío y garantías). También se solicitó información a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a través del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI) de todos los decomisos de cactáceas mexicanas que se han realizado en territorio nacional hasta el 2022, desglosado por fecha, especies, procedencia del ejemplar, cantidad y localidad del aseguramiento o decomiso.

#### **7.4. Estimación de la distribución de las especies de estudio**

##### **Obtención de registros de presencia de las especies**

- Se recabó la información bibliográfica, así como de los ejemplares de herbario disponibles en línea (IBdata, Tropicos.org y World Flora Online), de las bases de datos del Sistema Nacional de Información Biológica (SNIB) y del Global Biodiversity Information Facility (GBIF).
- Se elaboró una base de datos/especie en Excel con la información contenida en los ejemplares: Identificación del ejemplar (ID), número de catálogo, número de colecta, colección, institución, fecha de colecta, procedencia del ejemplar, licencia de uso, proyecto, coordenadas geográficas, localización, altitud y fuente bibliográfica.
- La base de datos fue depurada, eliminando datos duplicados y posibles errores en las coordenadas, teniendo en cuenta la sinonimia taxonómica y la fuente bibliográfica y se cotejó la distribución espacial con el software Qgis 3.8.2. También se verificaron las coordenadas de los ejemplares con Google earth y se consultó a especialistas sobre la información obtenida.
- Se elaboraron los mapas de distribución geográfica conocida (definida a partir de registros de presencia histórica acumulada) por especie utilizando el programa Qgis versión 3.8.2, el mapa de División política estatal, 1:250000 (INEGI, 2020 descargado del portal de Geoinformación CONABIO) y Bing Maps del complemento QuickMapServices ([https://plugins.qgis.org/plugins/quick\\_map\\_services/](https://plugins.qgis.org/plugins/quick_map_services/)) de QGIS.

## Obtención de variables ambientales y perfiles bioclimáticos

Se obtuvieron los perfiles bioclimáticos para cada especie de estudio con ayuda del programa Qgis versión 3.8.2, tomando la ubicación de los registros de presencia de estas especies, así como el modelo digital de elevación y 19 variables bioclimáticas de alta resolución para México elaboradas con la información del período 1910-2009, a una resolución espacial de ~1 km<sup>2</sup> (30 segundos de arco) (Cuervo-Robayo et al., 2013) (**Tabla 1**). Esta información indica las condiciones ambientales de los sitios en donde se han recolectado u observado especímenes de cada especie y con ello podemos obtener una idea de sus tolerancias fisiológicas e identificar los intervalos de temperatura y precipitación más adecuadas para las mismas.

**Tabla 1.** Variables bioclimáticas consideradas para los perfiles bioclimáticos y la elaboración de los modelos de distribución potencial (Cuervo-Robayo et al., 2013).

Abreviación	Descripción
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)
BIO3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo (°C)
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco (°C)
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido (°C)
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío (°C)
BIO12	Precipitación anual (mm)
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso (mm)
BIO14	Precipitación del mes más seco (mm)
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm)
BIO17	Precipitación del trimestre más seco (mm)
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)

#### **7.4.1. Modelos de distribución potencial de las especies de estudio**

Para predecir la distribución potencial de las especies de estudio, se utilizó el conjunto de datos de ocurrencia depurados de cada especie, las variables bioclimáticas (**Tabla 1**) y el software MaxEnt versión 3.4.1 (Steven et al., 2023). Se utilizó este software ya que en trabajos previos de modelado de nicho ecológico (MNE) y distribución potencial ha dado buenos resultados en una amplia variedad de especies y regiones (Elith et al., 2011; Yañez-Arenas et al., 2012, Srivastava et al., 2020). Este programa estima la probabilidad de presencia de una especie buscando la distribución de máxima entropía (es decir, la más cercana a la uniforme), en función de variables ambientales y datos de ocurrencia (Phillips et al., 2006).

Para delimitar el área accesible de cada especie (región M) (Peterson et al., 2011), a los registros de presencia depurados se les añadió un área búfer considerando el rango de dispersión particular de cada especie o se ajustaron con el uso de provincias biogeográficas de Morrone et al., (2017). Posteriormente las variables bioclimáticas fueron recortadas con el área accesible (búfer) de cada especie y transformadas a formato ASCII para que pudieran ser manipuladas en MaxEnt.

Para reducir la alta colinealidad y minimizar el sobreajuste de los modelos se realizó un análisis de correlación de Pearson en R y prueba de Jackknife para estimar la importancia de la contribución de las variables. Con base en los resultados se eliminaron las variables con un coeficiente de Pearson  $> |0.80|$  (Rissler y Apodaca 2007; Martínez-Méndez et al., 2016),



considerando mantener las variables con un mayor porcentaje de contribución de acuerdo con los resultados de la prueba de Jackknife, de esta manera se obtuvieron las variables finales para estimar la distribución potencial de cada especie.

Para generar los modelos de probabilidad de distribución en MaxEnt se utilizaron 500 iteraciones, cinco réplicas, salida logística para obtener un mapa con probabilidades de idoneidad continuas con valores entre 0 y 1 (Phillips et al., 2006), un nivel de convergencia de 0.0001, 75% del total de las ocurrencias se utilizaron para entrenamiento y 25% para la validación y también se utilizó la prueba de Jackknife para estimar la importancia de la contribución de las variables (Martínez-Méndez et al., 2016).

Una vez obtenidos los modelos probabilísticos, con la ayuda del programa ArcGIS 10.5, se reclasificaron los modelos tomando en consideración el valor mínimo de probabilidad de condiciones adecuadas de los registros para la presencia de cada especie, generando de esta manera un mapa binario por especie (1-0; presencia-ausencia) (Yáñez-Arenas et al., 2012).

La evaluación de cada modelo se realizó mediante el estadístico valor de área bajo la curva (AUC, Area Under the Curve) que se genera mediante la técnica ROC (Receiver Operating Characteristic) que realiza el mismo MaxEnt (Hanley y McNeil, 1983). El AUC es la representación gráfica del modelo que representa la capacidad de discriminación de una ausencia o especificidad de una presencia (Phillips & Dudík, 2008), donde un valor de 0.5 significa que el modelo presenta una clasificación al azar, y un valor de 1 indica que el modelo tiene un ajuste perfecto (Felicísimo et al., 2011). Por lo tanto, para cada modelo se obtuvo un valor AUC, categorizando los resultados de acuerdo con Araújo et al., (2005)

como: excelente 0.90 – 1, bueno 0.80 – 0.90, aceptable 0.70 – 0.80, mala 0.60 – 0.70 y no válido 0.5 – 0.6.

#### **7.4.2. Estimación de la distribución mediante el método polígono mínimo convexo (PMC) de las especies de estudio**

Para estimar el área de ocurrencia de cada especie en km<sup>2</sup> se utilizó el polígono mínimo convexo (PMC) (Jennrich y Turner, 1969) mediante la herramienta ArcToolbox > Data Management Tools > Features > Minimum Bounding Geometry (Convex hull) de ArcMap® 10.5. Las áreas de ocurrencia que se superponían al mar fueron cortadas generando áreas ajustadas a la ubicación real de la especie.

#### **7.5. Cambio de uso de suelo en las áreas de distribución de las especies seleccionadas**

Para evaluar los cambios del uso de suelo ocurridos en 20 años (2001-2021), se utilizaron los mapas de la serie II y VII uso de suelo y vegetación (INEGI, 2001; INEGI, 2021) (**Tabla 2**). Los cuales fueron recortados con las áreas de distribución (potencial y PMC) de las especies de estudio. Esto permitió realizar la comparación por sobreposición cartográfica de ambas fechas (Mas et al., 2004). Para ello primero se homologó el sistema de clasificación de la Serie II y VII de uso de suelo y vegetación (Peterson et al., 2006), obteniendo 17 categorías (**Tabla 3**).

**Tabla 2.** Temporalidad de los datos de cada serie del uso de suelo y Vegetación INEGI.

<b>Serie</b>	<b>Temporalidad de datos</b>	<b>Fuente</b>
II	1993 - 1997	Se derivó con base en información de la serie I, e imágenes Landsat adquiridas en 1993 con el sensor Thematic Mapper (Landsat TM) a una resolución espacial de 50 m. por pixel y trabajo de campo.
VII	2017 – 2021	Se derivó con base en la información de la serie VI e interpretación de Geomedianas generadas a partir de imágenes Landsat y con apoyo de información complementaria.

**Tabla 3.** Categorías de uso de suelo y vegetación de las series II y VII

<b>CATEGORÍAS</b>	
1	Agricultura
2	Bosque de Pino
3	Bosque de Quercus
4	Bosque tropical caducifolio
5	Bosque tropical perennifolio
6	Bosque tropical subcaducifolio
7	Bosque mesófilo de montaña
8	Bosque espinoso
9	Matorral xerófilo
10	Pastizal
11	Vegetación inducida
12	Sin vegetación aparente
13	Cuerpo de agua
14	Vegetación hidrófila
15	Otro tipo de vegetación
16	Asentamientos humanos
17	Zonas pecuarias

A partir de aquí se hicieron dos procedimientos: 1) para analizar la pérdida de hábitat los mapas de la serie II y VII fueron clasificados en dos categorías como áreas conservadas

(sitios o hábitat apropiado para las especies) y áreas perdidas (considerando que las áreas de asentamientos humanos, zonas agrícolas, vegetación inducida, áreas sin vegetación aparente y zonas acuícolas son inadecuadas para el establecimiento de poblaciones de las especies estudiadas). Esto permitió realizar la comparación por sobreposición cartográfica de ambas fechas (Mas et al., 2004), que es conocida en sistemas de información geográfica como “cruce de mapas”, dicho procedimiento consiste en la manipulación geométrica de las entidades geográficas de los mapas de uso de suelo, por lo que el mapa resultante expresa la fusión de la geometría de ambos mapas, así como los nuevos cambios. De esta manera se identificaron las áreas que permanecieron sin cambios en las áreas de distribución (potencial y PMC) y los sitios que tuvieron algún cambio como: áreas recuperadas (sitios con adquisición de algún tipo de vegetación) y áreas perdidas por el cambio de uso de suelo, obteniendo de esta manera los mapas para poder visualizar los cambios y 2) se realizó nuevamente la superposición de mapas con las 17 categorías para identificar las superficies de permanencia y de cambio en la vegetación y uso de suelo en km<sup>2</sup>. Esto permitió realizar una matriz de transición para identificar los cambios de vegetación y uso del suelo que se presentaron de un periodo a otro.

Posteriormente mediante la herramienta Point Sampling Tool de Qgis versión 3.8.2 se revisaron los tipos de vegetación o uso del suelo donde se ubicaban cada una de las especies seleccionadas para determinar si los registros se encontraban dentro de zonas perturbadas o conservadas.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Inventario de cactáceas arbóreas de México

Las cactáceas **arbóreas** pertenecen a la tribu Pachycereeae (Gibson y Nobel, 1986). Se registraron 57 especies de cactáceas **arbóreas** para México, cuyo nombre científico es aceptado de acuerdo con la información de clasificación y nomenclatura utilizada para datos en la columna vertebral taxonómica de World Flora Online <http://www.worldfloraonline.org/> y Caryophyllales <https://caryophyllales.org/>. Lo cual difiere de lo señalado por Bravo-Hollis en 1978, quien reporta 80 especies de cactáceas columnares en México y de los señalado por Gibson & Nobel, (1986) y Valiente-Banuet et al. (1996) quienes señalan que existen aproximadamente 70 especies de cactáceas columnares en México.

En la **Tabla 3**, se presenta el listado de especies de cactáceas arbóreas con su estatus de conservación y distribución geográfica por estados y en la **Tabla 4**, se presenta la lista de cactáceas **arbóreas** de México señalando su nombre común, sus usos y la fuente bibliográfica.

**Tabla 4.** Listado de especies de cactáceas **arbóreas** con su estatus de conservación y distribución geográfica por estados (en negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio, \*\* especies prioritarias para la conservación).

	Especie	Forma de crecimiento	Estatus de conservación			Distribución
			Nom-059- semarnat- 2010	UICN	CITES	
1	<i>Carnegiea gigantea</i> (Engelm.) Britt. & Rose**	Columnar	A	LC	II	MÉXICO: Sonora, ESTADOS UNIDOS.
2	<i>Cephalocereus apicicephalum</i> E.Y.Dawson	Columnar, candelabroforme	*	LC	II	MÉXICO: Chiapas, Oaxaca.
3	<i>Cephalocereus columna-trajani</i> (Karw. Ex Pfeiff.) K.Schum.	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Oaxaca, Puebla
4	<i>Cephalocereus euphorbioides</i> (Haw.) Britton y Rose	Columnar	*	VU	II	MÉXICO: San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz.
5	<i>Cephalocereus fulviceps</i> (F.A.C.Weber ex K.Schum.) H.E.Moore	Columnar, candelabroforme	Pr	LC	II	MÉXICO: Oaxaca y Puebla
6	<i>Cephalocereus macrocephalus</i> F.A.C.Weber ex K.Schum.	Columnar, candelabroforme	*	LC	II	MÉXICO: Puebla.
7	<i>Cephalocereus mezcalaensis</i> Bravo	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla.
8	<i>Cephalocereus multiareolatus</i> (EYDawson) HJTapia & S.Arias	Columnar	*	NE	II	MÉXICO: Guerrero
9	<i>Cephalocereus nizandensis</i> (Bravo & T. Mac Doug.) Buxb.	Columnar, candelabroforme	Pr	VU	II	MÉXICO: Oaxaca.
10	<i>Cephalocereus nudus</i> E.Y.Dawson	Columnar	*	LC	II	México: Oaxaca y Puebla
11	<i>Cephalocereus polylophus</i> (DC.) Britton y Rose	Columnar	*	VU	II	MÉXICO: Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí.
12	<i>Cephalocereus sanchez-mejoradae</i> (A.B.Lau) H.J.Tapia & S.Arias	Columnar	*	DD	II	MÉXICO: Oaxaca
13	<i>Cephalocereus scoparius</i> (Poselg.) Britton y Rose	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Oaxaca, Veracruz.
14	<b><i>Cephalocereus senilis</i> (Haw.) Pfeiff.**</b>	<b>Columnar</b>	<b>A</b>	<b>EN</b>	<b>II</b>	<b>MÉXICO: Hidalgo, Veracruz</b>
15	<b><i>Cephalocereus tetetzo</i> (F.A.C. Weber ex JMCoult.) Diguet</b>	<b>Columnar</b>	<b>*</b>	<b>LC</b>	<b>II</b>	<b>MÉXICO: Oaxaca, Puebla.</b>
16	<i>Cephalocereus totolapensis</i> (Bravo & T.MacDoug.) Buxb.	Columnar	*	VU	II	México: Sur de Oaxaca
17	<i>Escontria chiotilla</i> (F.A.C. Weber ex K.Schum.) Rose	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Guerrero, Michoacán Puebla y Oaxaca.
18	<i>Isolatocereus dumortieri</i> (Scheidw.) Backeb.	Columnar, candelabroforme	*	LC	II	MÉXICO: Aguascalientes, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco. México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz y Zacatecas.
19	<i>Lemaireocereus hollianus</i> (FACWeber ex JMCoult.) Britton & Rose	columnar	*	LC	II	MÉXICO: Oaxaca, Puebla.
20	<b><i>Lophocereus marginatus</i> (DC.) S. Arias y Terrazas</b>	<b>Columnar</b>	<b>*</b>	<b>DD</b>	<b>II</b>	<b>MÉXICO: Aguascalientes, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas.</b>

\* No se encuentra dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Estatus en la Nom-059-SEMARNAT-2010: A, amenazado; Pr, protección especial; P, peligro de extinción. UICN: EN, en peligro; LC, preocupación menor; DD, datos insuficientes; VU, vulnerable. Con negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio.

**Tabla 4.** (Continuación)

	Especie	Forma de crecimiento	Estatus de conservación			Distribución
			Nom-059-semarnat-2010	UICN	CITES	
21	<i>Lophocereus schottii</i> (Engelm.) Britton y Rose	Columnar	Pr	LC	II	MÉXICO: Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, ESTADOS UNIDOS.
22	<i>Myrtillocactus cochal</i> (Orcutt) Britton y Rose	Arbustiva	*	LC	II	MÉXICO: Baja California, Baja California Sur.
23	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console	<b>Candelabriforme</b>	*	<b>LC</b>	<b>II</b>	<b>MÉXICO: Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas.</b>
24	<i>Myrtillocactus schenckii</i> (J.A. Purpus) Britton y Rose	Candelabriforme	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Oaxaca, Puebla.
25	<i>Pachycereus eichlamii</i> (Britton & Rose) DRHunt	Columnar	*	DD	<b>II</b>	MÉXICO: Yucatán y Oaxaca.
26	<i>Pachycereus grandis</i> Rose.	Columnar	*	VU	<b>II</b>	MÉXICO: México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla.
27	<i>Pachycereus militaris</i> (Audot) DRHunt.	<b>Candelabriforme</b>	<b>Pr</b>	<b>VU</b>	<b>I</b>	<b>MÉXICO: Guerrero, Jalisco, Michoacán.</b>
28	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> (Engelm. ex S.Watson) Britton & Rose	Columnar	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Zacatecas.
29	<i>Pachycereus pringlei</i> (S.Watson) Britton & Rose	<b>Columnar</b>	*	<b>LC</b>	<b>II</b>	<b>MÉXICO: Baja California, Baja California Sur y Sonora.</b>
30	<i>Pachycereus tepamo</i> S.Gama-López & S.Arias	Columnar	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Michoacán.
31	<i>Pachycereus weberi</i> (J.M. Coult.) Backeb.	Columnar, candelabriforme	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla.
32	<i>Pilosocereus alensis</i> (F.A.C.Weber ex Gosselin) Byles & G.D.Rowley	Columnar	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Sinaloa, Sonora.
33	<i>Pilosocereus chrysacanthus</i> (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Byles & G.D.Rowley	Columnar	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Guerrero, Oaxaca, Puebla.
34	<i>Pilosocereus collinsii</i> (Britton y Rose) Byles y GDRowley	Columnar	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Chiapas, Oaxaca.
35	<i>Pterocereus gaumeri</i> (Britton y Rose) T. MacDoug. Y Miranda	Columnar	P	EN	II	MÉXICO: Chiapas, Oaxaca, San Luis Potosí, Yucatán.
36	<i>Pilosocereus leucocephalus</i> (Poselg.) Byles & G.D.Rowley	Columnar	Pr	LC	II	MÉXICO: Chiapas, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz. GUATEMALA, HONDURAS, NICARAGUA.
37	<i>Pilosocereus purpusii</i> (Britton & Rose) Byles & G.D.Rowley	Columnar	*	LC	<b>II</b>	MÉXICO: Colima, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Sinaloa.

\* No se encuentra dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Estatus en la Nom-059-SEMARNAT-2010: A, amenazado; Pr, protección especial; P, peligro de extinción. UICN: EN, en peligro; LC, preocupación menor; DD, datos insuficientes; VU, vulnerable. Con negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio.

**Tabla 4.** (Continuación)

	Especie	Forma de crecimiento	Estatus de conservación			Distribución
			Nom-059-semarnat-2010	UICN	CITES	
38	<i>Pilosocereus quadricentralis</i> (E.Y.Dawson) Backeb.	Columnar	*	EN	II	MÉXICO: Chiapas, Oaxaca.
39	<i>Polaskia chende</i> (Rol.-Goss.) A.C.Gibson & K.E.Horak	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Puebla y Oaxaca.
40	<i>Polaskia chichipe</i> (Rol.-Goss.) Backeb.	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Oaxaca, Puebla.
41	<i>Pilosocereus gaumeri</i> (Britton y Rose) Backeb.	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Quintana Roo, Yucatán
42	<i>Stenocereus chacalapensis</i> (Bravo & T. MacDoug.) Buxb.	Candelabriforme	Pr	CR	II	MÉXICO: Oaxaca.
43	<i>Stenocereus chrysocarpus</i> Sánchez-Mejorada.	Candelabriforme	*	EN	II	MÉXICO: Guerrero, Michoacán.
44	<i>Stenocereus eichlamii</i> (Britton & Rose) D.R.Hunt	Columnar	*	DD	II	MÉXICO: Chiapas, Yucatán. EL SALVADOR, GUATEMALA, NICARAGUA.
45	<i>Stenocereus fricii</i> Sánchez-Mejorada	Candelabriforme	*	LC	II	México: Colima, Guerrero, Jalisco Michoacán, Sinaloa.
46	<i>Stenocereus griseus</i> (Haw.) Buxb.	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Chiapas, Guerrero, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Veracruz de Ignacio de la llave y Yucatán.
47	<i>Stenocereus huastecorum</i> Alvarado-Sizzo, Arreola-Nava & Terrazas	Candelabriforme	*	NE	II	MÉXICO: Guanajuato.
48	<i>Stenocereus martinezii</i> (J.G. Ortega) Buxb.	Candelabriforme	Pr	EN	II	MÉXICO: Sinaloa.
49	<i>Stenocereus montanus</i> (Britton & Rose) Buxb.	Candelabriforme	*	LC	II	MÉXICO: Sinaloa, Sonora.
50	<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto ex Pfeiff.) Buxb.	Columnar, candelabriforme	*	LC	II	MÉXICO: Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán. GUATEMALA.
51	<b><i>Stenocereus queretaroensis</i> (F.A.C.Weber ex Mathsson) Buxb.</b>	<b>Candelabriforme</b>	<b>*</b>	<b>LC</b>	<b>II</b>	<b>MÉXICO: Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Querétaro, Zacatecas.</b>
52	<i>Stenocereus quevedonis</i> (JG Ortega) Buxb	Candelabriforme	*	LC	II	MÉXICO: Guerrero, Michoacán.
53	<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.	Candelabriforme	*	LC	II	MÉXICO: Guerrero, Morelos, Oaxaca, Puebla.
54	<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelm.) Buxb.	Candelabriforme	*	LC	II	MÉXICO: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa, Sonora, ESTADOS UNIDOS.
55	<i>Stenocereus treleasei</i> (rosa) Backeb.	Columnar	*	LC	II	MÉXICO: Oaxaca.
56	<i>Stenocereus zopilotensis</i> Arreola-Nava & Terrazas	Candelabriforme	*	NE	II	MÉXICO: Guerrero, Morelos.
57	<i>Stenocereus laevigatus</i> (Salm-Dyck) Buxb.	Candelabriforme	*	LC	II	MÉXICO: Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz

\* No se encuentra dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Estatus en la Nom-059-SEMARNAT-2010: A, Amenazado; Pr, Sujeta a protección especial; P, Peligro de extinción. UICN: EN, En peligro; LC, En preocupación menor; DD, Datos insuficientes; VU, Vulnerable; CR, Peligro crítico. Con negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio.



**Tabla 5.** Especies **arbóreas** presentes en México, se señala su nombre común, usos y fuentes bibliográficas (en negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio, \*\*especies prioritarias para la conservación).

	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Usos</b>	<b>Autor</b>
1	<i>Carnegiea gigantea</i> (Engelm.) Britt. & Rose**	sahuaro	1, 3, 4, 6	Bravo-Hollis, (1978).
2	<i>Cephalocereus apicicephalum</i> E.Y.Dawson	Órgano Viejo de Piedra	1,5	Casas, (2002).
3	<i>Cephalocereus columna-trajani</i> (Karw. Ex Pfeiff.) K.Schum.	cardón blanco	1, 5, 6	Casas, (2002); Paredes-Flores et al., (2007).
4	<i>Cephalocereus euphorbioides</i> (Haw.) Britton y Rose	Tetecho euforbia	9	
5	<i>Cephalocereus fulviceps</i> (F.A.C.Weber ex K.Schum.) H.E.Moore	Cardón gigante de Tehuacán	1, 5, 6	Casas, (2002).
6	<i>Cephalocereus macrocephalus</i> F.A.C.Weber ex K.Schum.	Tetecho Falso	1, 5, 6	Casas, (2002).
7	<i>Cephalocereus mezcalaensis</i> Bravo	Tetecho de Mezcala	1, 3, 4, 5, 6	Casas, (2002).
8	<i>Cephalocereus multiareolatus</i> (EYDawson) HJTapia & S.Arias	Tetecho espinoso	*	
9	<i>Cephalocereus nizandensis</i> (Bravo & T.MacDoug.) Buxb.	Órgano Viejo de Nizanda	*	
10	<i>Cephalocereus nudus</i> E.Y.Dawson	Tetecho de Flor Escamosa	*	
11	<i>Cephalocereus polylophus</i> (DC.) Britton y Rose	Tetecho Costilludo	9	
12	<i>Cephalocereus sanchez-mejoradae</i> (ABLau) HJTapia & S.Arias	Tetecho de nuyoo	*	
13	<i>Cephalocereus scoparius</i> (Poselg.) Britton y Rose	Tetecho Alto	1, 5	Casas, (2002).
14	<b><i>Cephalocereus senilis</i> (Haw.) Pfeiff.**</b>	<b>Viejito, órgano viejo real</b>	<b>9</b>	<b>Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002).</b>
15	<b><i>Cephalocereus tetetzo</i> (F.A.C. Weber ex JMCoult.) Digué</b>	<b>Tetetzo</b>	<b>1, 3, 4, 5, 6, 10</b>	<b>Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002); Paredes-Flores et al., (2007).</b>
16	<i>Cephalocereus totolapensis</i> (Bravo & T.MacDoug.) Buxb.	Órgano Viejo de Totolapan	*	
17	<i>Escontria chiotilla</i> (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Rose	"quiotilla" o "jiotilla".	1, 2, 3, 4, 5, 7, 10	Bravo-Hollis, (1978); Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, (1991); Casas, (2002); Paredes-Flores et al., (2007).
18	<i>Isolatocereus dumortieri</i> (Scheidw.) Backeb.	Órgano Cimarrón	1, 6, 9, 10	Bravo-Hollis, (1978).

Uso: Frutos comestibles (1); Bebida alcohólica (2); semillas comestibles (3); tallos y flores comestibles (4); Forraje (5), construcción (6); cercas vivas (7); medicina (8); Ornamental (9); Leña (10); tintura para teñir el pelo (11); como peine (12) y colorante natural comestible (13). Con negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio, \*especies que no se tienen reportes de uso.

**Tabla 5.** (Continuación)

	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Usos</b>	<b>Autor</b>
19	<i>Lemaireocereus hollianus</i> (FACWeber ex JMCoult.) Britton & Rose	Acompes	1,7, 10	Arias et al., (2012); Paredes-Flores et al., (2007).
20	<i>Lophocereus marginatus</i> (DC.) S. Arias y Terrazas	<b>Cactus Órgano</b>	<b>1, 4, 5, 7, 8, 11</b>	<b>Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002); Paredes-Flores et al., (2007).</b>
21	<i>Lophocereus schottii</i> (Engelm.) Britton y Rose	Cabeza de viejo	1, 8, 9	Bravo-Hollis, (1978); Bueno y Plumed, (2017)
22	<i>Myrtillocactus cochal</i> (Orcutt) Britton y Rose	"cochal"	1	Bravo-Hollis, (1978).
23	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console	<b>"garambullo", "padre nuestro".</b>	<b>1, 2, 4, 5, 7, 10</b>	<b>Bravo-Hollis, (1978); Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, (1991); Casas, (2002); Paredes-Flores et al., (2007); Arias et al., (2012).</b>
24	<i>Myrtillocactus schenckii</i> (J.A. Purpus) Britton y Rose	Garambullo Blanco	1, 2, 4, 5, 7	Casas, (2002).
25	<i>Pachycereus eichlamii</i> (Britton & Rose) DRHunt	Guanocal	1, 7	Casas, (2002).
26	<i>Pachycereus grandis</i> Rose.	Cardón Grande	1, 3, 5	Casas, (2002).
27	<i>Pachycereus militaris</i> (Audot) DRHunt	<b>órgano de gorro tiponche</b>	<b>1, 5</b>	<b>Córtés et al., (1998); Casas, (2002).</b>
28	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> (Engelm. ex S.Watson) Britton & Rose	Etcho	1, 3,5, 6, 8, 10, 12	Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002).
29	<i>Pachycereus pringlei</i> (S.Watson) Britton & Rose	<b>Cardón</b>	<b>1, 3, 4, 6</b>	<b>Bravo-Hollis, (1978).</b>
30	<i>Pachycereus tepamo</i> S.Gama-López & S.Arias	Cardón de Michoacán, Tepamo	1	
31	<i>Pachycereus weberi</i> (J.M.Coult.) Backeb.	"cardón", "candelabro", "chico".	1, 2, 3, 5, 6, 10	Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002).
32	<i>Pilosocereus alensis</i> (F.A.C.Weber ex Gosselin) Byles & G.D.Rowley	Cardón barbón	1, 5	Casas, (2002).
33	<i>Pilosocereus chrysacanthus</i> (F.A.C.Weber ex K.Schum.) Byles & G.D.Rowley	Barba de viejo, Barbas de chivo	1, 9	Paredes-Flores et al., (2007).
34	<i>Pilosocereus collinsii</i> (Britton y Rose) Byles y GDRowley	Pitayo viejo uo she ka	1, 5	Casas, (2002).
35	<i>Pterocereus gaumeri</i> (Britton y Rose) T.MacDoug. Y Miranda	Órgano kanzacam	5, 9	Arellano-Rodríguez <i>et al.</i> , (2003).
36	<i>Pilosocereus leucocephalus</i> (Poselg.) Byles & G.D.Rowley	Pitahaya barbona	9	
37	<i>Pilosocereus purpusii</i> (Britton & Rose) Byles & G.D.Rowley	Pitayo Viejo	1, 5	Casas, (2002).
38	<i>Pilosocereus quadricentralis</i> (E.Y.Dawson) Backeb.	Pitayo Viejo Barbado	1,5	Casas, (2002).
39	<i>Polaskia chende</i> (Rol.-Goss.) A.C.Gibson & K.E.Horak	"Chende"	1, 3, 5, 7, 10, 13	Bravo-Hollis, (1978); Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, (1991); Casas, (2002).

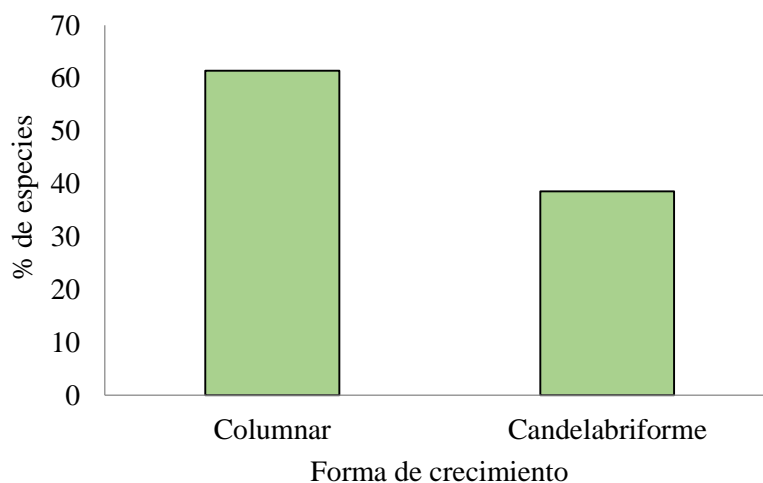
Uso: Frutos comestibles (1), Bebida alcohólica (2), semillas comestibles (3), tallos y flores comestibles (4), Forraje (5), construcción (6), cercas vivas (7), medicina (8), Ornamental (9), Leña (10), tintura para teñir el pelo (11) y como peine (12) y colorante natural comestible (13). Con negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio.

**Tabla 5.** (Continuación)

	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Usos</b>	<b>Autor</b>
40	<i>Polaskia chichipe</i> (Rol.-Goss.) Backeb.	Chichituna	1, 3, 5, 7, 10	Bravo-Hollis, (1978); Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, (1991); Casas, (2002).
41	<i>Pilosocereus gaumeri</i> (Britton y Rose) Backeb.	Pitayo Viejo Nekisin	1, 9, 5	Arellano-Rodríguez et al., (2003)
42	<i>Stenocereus chacalapensis</i> (Bravo & T. MacDoug.) Buxb.	Pitayo Gigante	1, 5	Casas, (2002).
43	<i>Stenocereus chrysocarpus</i> Sánchez-Mejorada.	Pitayo dorado	1, 5	Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002).
44	<i>Stenocereus eichlamii</i> (Britton & Rose) D.R.Hunt	Pitayo Guanocal	1	Bravo-Hollis, (1978).
45	<i>Stenocereus fricii</i> Sánchez-Mejorada	Pitayo de Aguas	1, 3, 5, 7	Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002).
46	<i>Stenocereus griseus</i> (Haw.) Buxb.	Mezcalito	1, 9	Bravo-Hollis, (1978); Arellano-Rodríguez et al., (2003).
47	<i>Stenocereus huastecorum</i> Alvarado-Sizzo, Arreola-Nava & Terrazas	Pitaya Tamaulipeca	1	Alvarado-Sizzo H. <i>et al.</i> , (2018).
48	<i>Stenocereus martinezii</i> (J.G. Ortega) Buxb.	Pitayo de Martínez	1	Bravo-Hollis, (1978).
49	<i>Stenocereus montanus</i> (Britton & Rose) Buxb.	Pitaya Colorada	1	Casas, (2002).
<b>50</b>	<b><i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto ex Pfeiff.) Buxb.</b>	Pitaya, Pitaya de mayo, Pitayo	1, 5, 7, 9, 10	Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002); Arellano-Rodríguez et al., (2003); Paredes-Flores et al., (2007).
51	<b><i>Stenocereus queretaroensis</i> (F.A.C.Weber ex Mathsson) Buxb.</b>	<b>pitaya de Querétaro</b>	<b>1, 5, 7</b>	<b>Bravo-Hollis, 81978); Casas, (2002); Esquivel, (2004); Pimenta-Barrios y Nobel, (1994).</b>
52	<i>Stenocereus quevedonis</i> (JG Ortega) Buxb	Baboso	1, 3, 5, 7	Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002).
53	<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.	Pitayo Xoconostle	1, 2, 3, 4, 5, 7, 10	Bravo-Hollis, (1978); Casas, (2002); Paredes-Flores et al., (2007).
54	<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelm.) Buxb.	Pitayo Dulce	1	Bravo-Hollis, (1978).
55	<i>Stenocereus treleasei</i> (rosa) Backeb.	"tunillo"	1, 3, 5, 7, 10	Casas, (2002).
56	<i>Stenocereus zopiloteensis</i> Arreola-Nava & Terrazas	Pitahaya de El Zopilote, "tuna pelona"	1, 9	Monteon-Ojeda et al., (2021).
57	<i>Stenocereus laevigatus</i> (Salm-Dyck) Buxb.	Pitayo yucateco	1, 10	Bacab-Figueroa, (2019).

Uso: Frutos comestibles (1), Bebida alcohólica (2), semillas comestibles (3), tallos y flores comestibles (4), Forraje (5), construcción (6), cercas vivas (7), medicina (8), Ornamental (9), Leña (10), tintura para teñir el pelo (11) y como peine (12) y colorante natural comestible (13). Con negritas se presentan las especies seleccionadas para este estudio.

Analizando la información contenida en las tablas 4 y 5, en total para México se cuenta con 57 especies de cactáceas **arbóreas**, de éstas el 61.4% corresponden a especies columnares y 38.6% a especies candelabriformes (**Figura 1**).



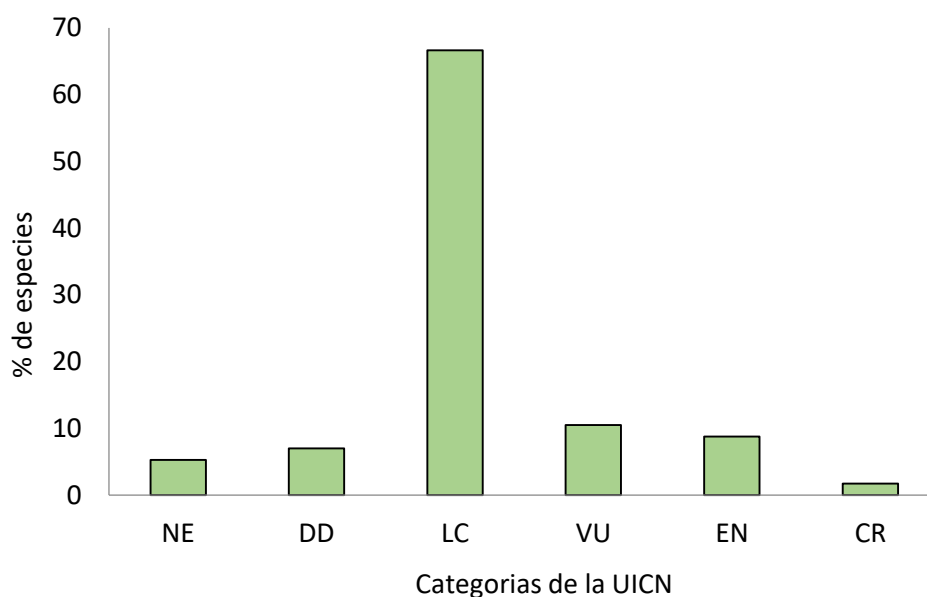
**Figura 1.** Porcentaje de especies de cactáceas **arbóreas** recopiladas en diferentes fuentes electrónicas (N= 57).

El 18% de las 57 especies de cactáceas **arbóreas** se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y el 21% se encuentra en alguna categoría de riesgo en la UICN. En lo que se refiere a CITES, sólo *Pachycereus militaris* se encuentra en el Apéndice I, mientras que el resto de las especies se encuentran en el Apéndice II.

De las especies de cactáceas arbóreas que se encuentran dentro de la UICN, la cactácea candelabriforme *Stenocereus chacalapensis* (Bravo & T. MacDoug.) Buxb se encuentra en peligro crítico, cinco especies están en peligro, seis especies están en la categoría de vulnerable y cuatro tienen datos deficientes, es decir que no hay información

adecuada para hacer una evaluación, directa o indirecta, de su riesgo de extinción basándose en la distribución y/o condición de la población, (UICN 2001). En la **figura 2**, se presenta una gráfica con el porcentaje de especies que se encuentran en alguna categoría de acuerdo con la UICN.

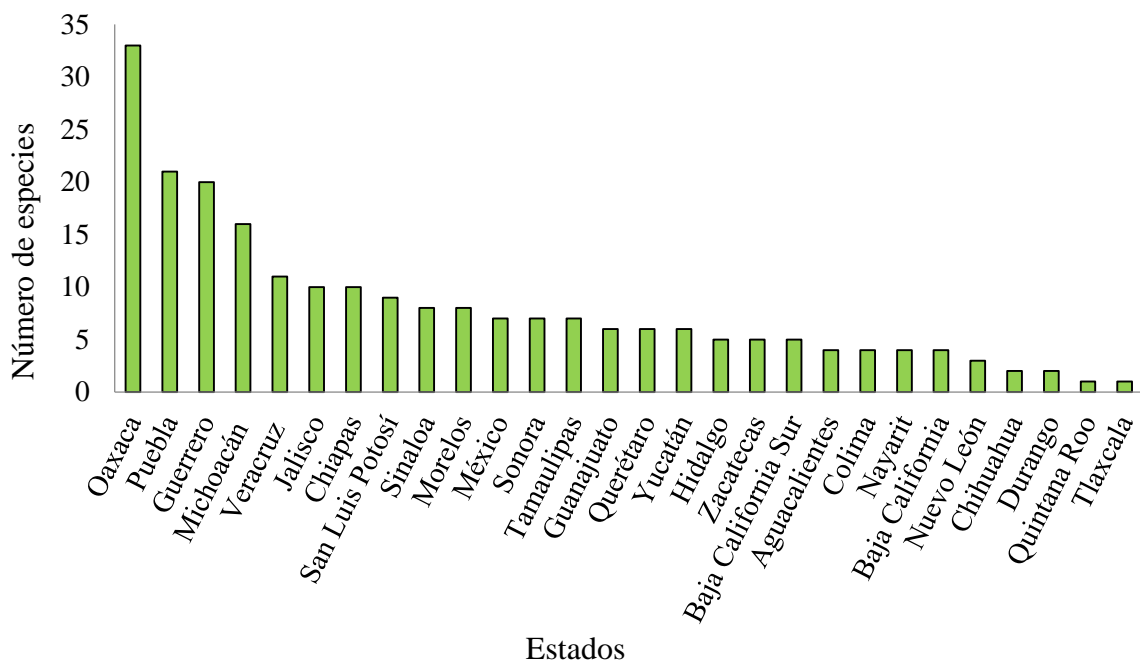
Cabe mencionar que las especies *Cephalocereus multiareolatus* (EYDawson) HJTapia & S. Arias, *Stenocereus huastecorum* Alvarado-Sizzo, Arreola-Nava & Terrazas y *Stenocereus zopilotensis* Arreola-Nava & Terrazas, aún no están evaluadas dentro de la UICN.



**Figura 2.** Porcentaje de especies en alguna categoría de acuerdo con la UICN (N=57) (UICN: NE, no evaluado; DD, datos insuficientes; LC, preocupación menor; VU, vulnerable; EN, en peligro; CR, peligro crítico).

En la **figura 3**, se presenta la distribución de especies de cactáceas por estado. Donde se puede observar que Oaxaca es el estado con mayor número de cactáceas **arbóreas** con 33

especies de las 57 encontradas en México, seguida por Puebla con 21, Guerrero con 20 y Michoacán con 16. Los estados con una especie fueron Quintana Roo y Tlaxcala y solo los estados de Campeche, Coahuila y Tabasco no poseen cactáceas arbóreas.

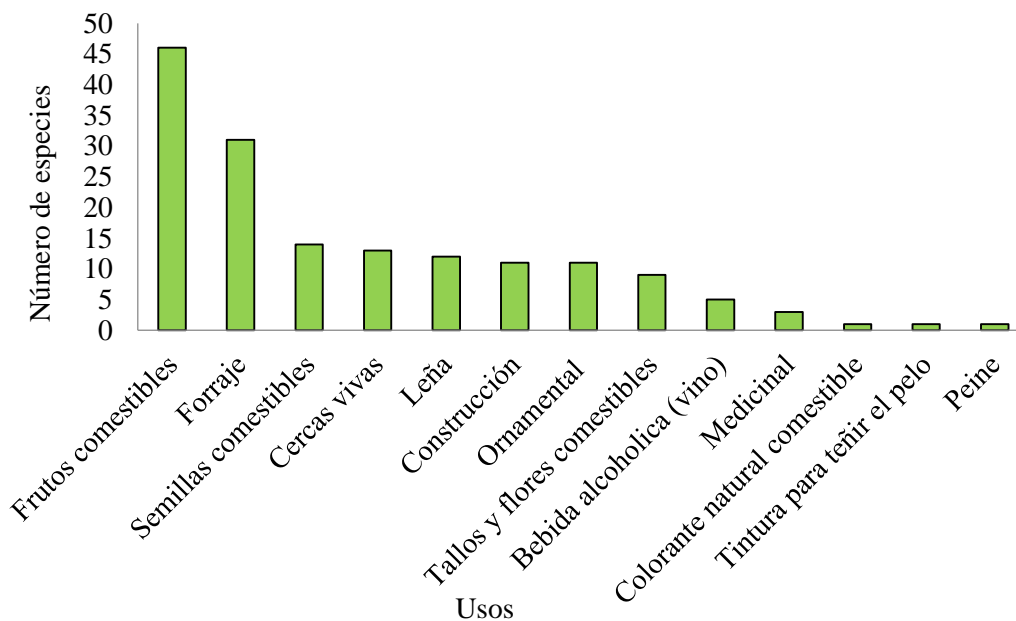


**Figura 3.** Diversidad de cactáceas **arbóreas** presentes por estado.

De las 57 especies de cactáceas **arbóreas** encontradas en la bibliografía, 39 tienen más de un uso, es decir que son recursos con usos múltiples. Las cactáceas pueden usarse completas o solo algunas de sus partes como los tallos, las flores, los frutos o las semillas. Entre los usos registrados, encontramos que son aprovechadas como recursos alimenticios (flores, fruto, semillas y tallo) y medicinales o para la construcción, la creación de cercas vivas, ornamental, combustible (leña) o cosmético. Mientras que 13 especies tienen solo un uso (ocho son aprovechadas por sus frutos comestibles y cinco son ornamentales).

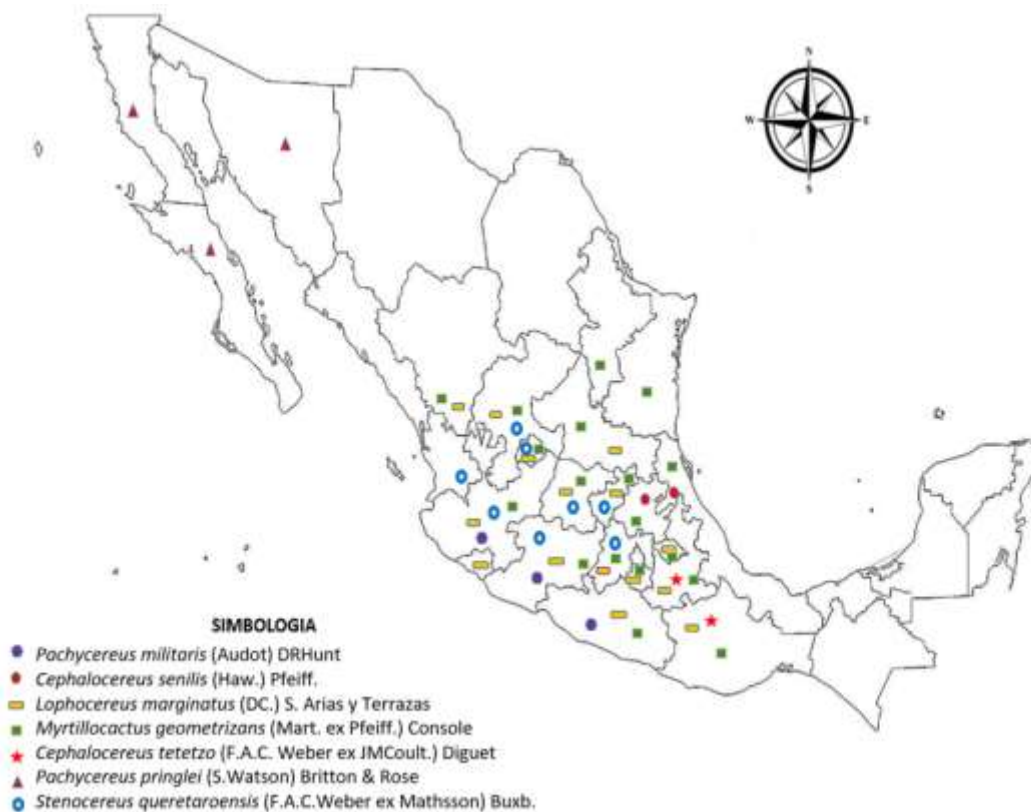
Se encontró que de las 57 especies de cactáceas **arbóreas** de México, se aprovechan los frutos de 46 de ellas. Estos frutos además de su uso directo pueden ser vendidos frescos en mercados regionales, ser aprovechados para elaborar mermeladas, conservas, hacer pasas o preparar miel; y 31 especies son utilizadas como forraje ya sea aprovechando las semillas para alimentar a aves de corral o los tallos para forraje del ganado. Entre las especies con usos poco comunes se encontró a *Lophocereus marginatus*, la cual además de ser aprovechada para la instalación de cercas vivas, sus tallos son utilizados para preparar una tintura para teñir el pelo ya que proporciona una intensa coloración negra.

Por otro lado, solo para cinco especies de cactáceas arbóreas no se encontró ningún registro de uso, estas son: *Cephalocereus multiareolatus*, *C. nizandensis*, *C. nudus*, *C. sanchez-Mejoradae* y *C. totolapensis*.



**Figura 4.** Usos de las cactáceas arbóreas de México (N=52).

Las especies seleccionadas para ser estudiadas más a fondo se presentan en la **Tabla 6**. y en la **figura 5**, se muestra el mapa con la distribución general de estas especies por estado.



**Figura 5.** Mapa de distribución por estado de las siete especies de estudio.



**Tabla 6.** Características generales de las especies seleccionadas para este estudio.

	Especie	Forma de crecimiento	Estatus de conservación			Usos	Distribución
			Nom-059-semarnat-2010	UICN	CITES		
1	<i>Cephalocereus senilis</i> (Haw.) Pfeiff.	Columnar	A	EN	II	9	MÉXICO: Hidalgo, Veracruz.
2	<i>Cephalocereus tetetzo</i> (FACWeber ex JMCoult.) Diguet	Columnar	*	LC	II	1, 3, 4, 5, 6	MÉXICO: Oaxaca, Puebla.
3	<i>Lophocereus marginatus</i> (DC.) S. Arias y Terrazas	Columnar	*	DD	II	1, 4, 5, 7, 8, 11	MÉXICO: Aguascalientes, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas.
4	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console	Candelabroforme	*	LC	II	1, 2, 4, 5, 7	MÉXICO: Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas.
5	<i>Pachycereus militaris</i> (Audot) DRHunt.	Candelabroforme	Pr	VU	I	1, 5	MÉXICO: Guerrero, Jalisco, Michoacán.
6	<i>Pachycereus pringlei</i> (S. Watson) Britton & Rose	Columnar	*	LC	II	3, 6	MÉXICO: Baja California, Baja California Sur y Sonora.
7	<i>Stenocereus queretaroensis</i> (FACWeber ex Mathes.) Buxb.	Candelabroforme	*	LC	II	1, 5, 7	MÉXICO: Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Querétaro, Zacatecas.

Estatus en la Nom-059-SEMARNAT-2010: A, Amenazado; Pr, Sujeta protección especial. UICN: EN, En peligro; VU, Vulnerable; LC, En preocupación menor; Usó: Frutos comestibles (1), Bebida alcohólica (2), Semillas comestibles (3), Tallos y flores comestibles (4), Forraje (5), Construcción (6), Cercas vivas (7), Medicina (8), Ornamental (9), Leña (10), Tintura para teñir el pelo (11) y Como peine (12) y colorante natural comestible (13).

## 8.2. Descripción de las especies de estudio

### 8.2.1. *Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff.

#### Sinonimia

*Cactus bradypus* Lehm; *Cactus senilis* Haw; *Cephalocereus senilis f. cristatus* (Mathsson) PVHeath; *Cephalocereus senilis f. fasciatus* PVHeath; *Cephalophorus senilis* (Haw.) Lem; *Cereus bradypus* (Lehm.) Steud; *Euporteria senilis* (Haw.) Kreuz. & Buining; *Melocactus bradypus* Lehm. ex Steud; *Pilocereus senilis* (Haw.) Lem. (WFO, 2023)

**Taxonomía** (tomado de CONABIO, 2023).

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Echinocereae

Género: *Cephalocereus*

Especie: *senilis*

**Nombre científico:** *Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff., 1838

#### **Estatus de conservación**

Esta especie se considera como Amenazada (A) por la NOM-059-SEMARNAT-2010. La UICN la considera en la categoría de En peligro (EN) en su Lista Roja, y en el Apéndice II de la CITES.

## Descripción

Es una planta columnar de crecimiento monopódico, a veces ramificado, de hasta 15 m de altura y 45 a 50 cm de diámetro, presenta ramas verdes hasta con 34 costillas, de 9 a 12 mm de altura, ligeramente onduladas. Las **areolas** están separadas entre sí de 12 a 14 mm. Las **espinas** son de 3 a 5 con numerosas cerdas largas y flexibles de color blanco. A medida que la planta crece va perdiendo las cerdas en la parte inferior del tallo (Vázquez-Sánchez et al., 2005). Las **flores** son nocturnas, de 5 a 9 cm de largo y 6 cm de ancho, parcialmente ocultas en el cefalio, de color rosa claro o amarillo (**Figura 6b**); segmentos del periantos cortos y algo carnosos, color rosa (Bravo-Hollis, 1978). El **fruto** es de forma ovoidal de 2.5 a 3 cm de largo y 2 a 2.5 cm de ancho, de color rosa claro cuando está fresco, y seco es de color café oscuro (**Figura 6c**). Las **semillas** son muy numerosas, en forma de gorro de 2.77 mm de largo y 1.88 mm de ancho (Gelista-García, 2008) (**Figura 6**).



**Figura 6.** *Cephalocereus senilis*. a) Individuo adulto en Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo (Foto: S. López-Torralba), b) Flor en el cefalio de un individuo de *C. senilis* (Foto: M.L. Matías-Palafox) y c) Frutos secos (Foto: S. López-Torralba).

### 8.2.2. *Cephalocereus tetetzo* (F.A.C. Weber ex JMCoult.) Diguet

#### Sinonimia

*Carnegiea tetetzo* (FACWeber ex JMCoult.) PV Heath; *Carnegiea tetetzo* var. *desnuda* (EYDawson); *Cephalocereus nudus* EY Dawson; *Cephalocereus tetazo* (Weber ex Coulter.) Diguet; *Cephalocereus tetetzo* (FAC Weber ex K. Schum.) Vaupel; *Cephalocereus tetetzo* var. *nudus* (EY Dawson) EY Dawson; *Cereus tetazo* JM Coult.; *Cereus tetazo* Weber ex Coulter; *Cereus tetetzo* FACWeber ex JMCoult; *Neobuxbaumia tetetzo* var. *nuda* (EYDawson) EYDawson; *Neobuxbaumia tetetzo* (FACWeber ex K. Schum.) Backeb; *Pachycereus tetetzo* (FACWeber ex JMCoult.) Ochot.; *Pilocereus tetezo* (FACWeber ex JMCoult.) FACWeber ex K. Schum (WFO, 2023).

**Taxonomía** (tomado de CONABIO, 2023).

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Echinocereae

Género: *Cephalocereus*

Especie: *tetetzo*

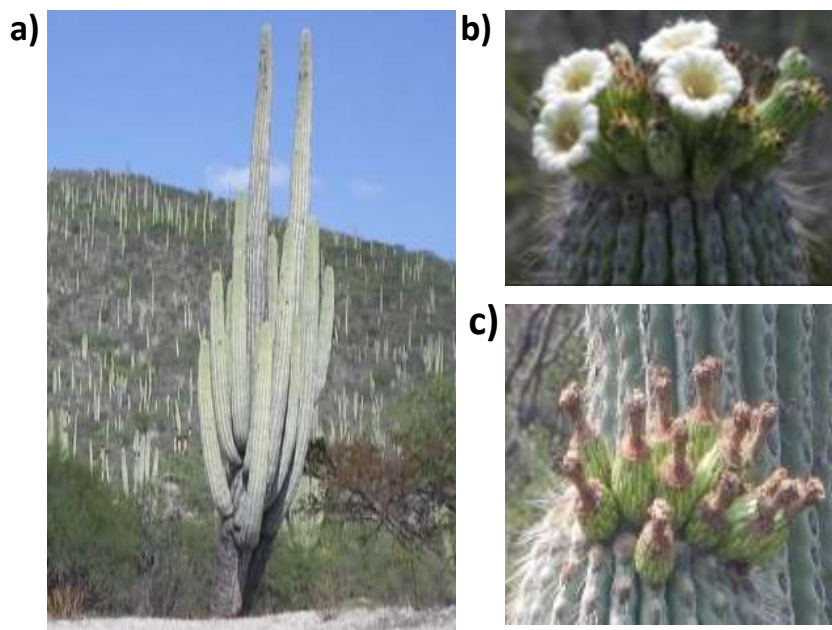
**Nombre científico:** *Cephalocereus tetetzo* (F.A.C. Weber ex JMCoult.) Diguet

#### Estatus de conservación

Esta especie no se encuentra contemplada en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Sin embargo, la UICN la considera en su Lista Roja como En preocupación menor (LC). También se encuentra en el Apéndice II de la CITES.

## Descripción

Es una planta arborescente de 15 metros de altura y 70 cm de diámetro. Su tallo principal es de 30 a 60 cm de ancho. Cuando jóvenes son columnares, pero después forman ramas escasas en su parte terminal de hasta 20 cm de ancho, con 13 a 17 costillas. Las **areolas** con una espina central negruzca de hasta 5 cm de largo. Las 8 a 13 espinas radiales son negruzcas y tienen una longitud de 1 a 2 centímetros. Las **flores** son nocturnas, nacen en el ápice de las ramas, tubulares-infundibuliformes de 5.5 cm de longitud, de color blanco verdoso; estambres numerosos; filamentos blancos; anteras color crema; estilo blanco. El **fruto** es ovoide, de 4 cm de diámetro, color verde algo rojizo el cual permanece adherido al tallo hasta que se seca, es comestible. Las **semillas** son pequeñas, oblicuo-reniformes, de 2 mm de largo, color moreno oscuro, brillantes, (**Figura 7**) (Bravo-Hollis 1978).



**Figura 7.** *Cephalocereus tetetzo*: **a)** Individuo adulto (Fuente: NaturaLista Bautista S.), **b)** Flor de un individuo de *C. tetetzo* (Foto: Carrillo Carbajal M.A.) y **c)** Frutos en crecimiento (Foto: Vásquez A.).

### 8.2.3. *Lophocereus marginatus* (DC.) S. Arias y Terrazas

#### **Sinonimia**

*Cereus cupulatus* Pfeiff; *Cereus gemmatus* Zucc. ex Pfeiff; *Cereus incrustans* Steud; *Cereus incrustatus* J. Forbes; *Cereus marginatus* DC; *Cereus marginatus* f. *gibbosus* JAPurpus; *Cereus mirbelii* Pfeiff; *Echinopsis gemmata* (Otto ex Pfeiff.) K.Schum; *Lemaireocereus marginatus* (DC.) A. Berger; *Lemaireocereus marginatus* var. *incrustatus* WTMarshall; *Lophocereus marginatus* (DC.) S. Arias y Terrazas; *Marginatocereus marginatus* var. *oaxacensis* Backeb; *Pachycereus marginatus* (DC.) Britton y Rose; *Pachycereus marginatus* var. *gemmaus* (Otto ex Pfeiff.) PVHeath; *Pachycereus marginatus* f. *gibbosus* (JAPurpus) PVHeath; *Pachycereus marginatus* var. *oaxacensis* (Backeb.) PVHeath; *Stenocereus marginatus* (DC.) A. Berger y Buxb y *Stenocereus marginatus* var. *gemmaus* (Zucc. ex Pfeiff.) Bravo (WFO, 2023).

**Taxonomía** (tomado de CONABIO, 2023).

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Echinocereae

Género: *Lophocereus*

Especie: *marginatus*

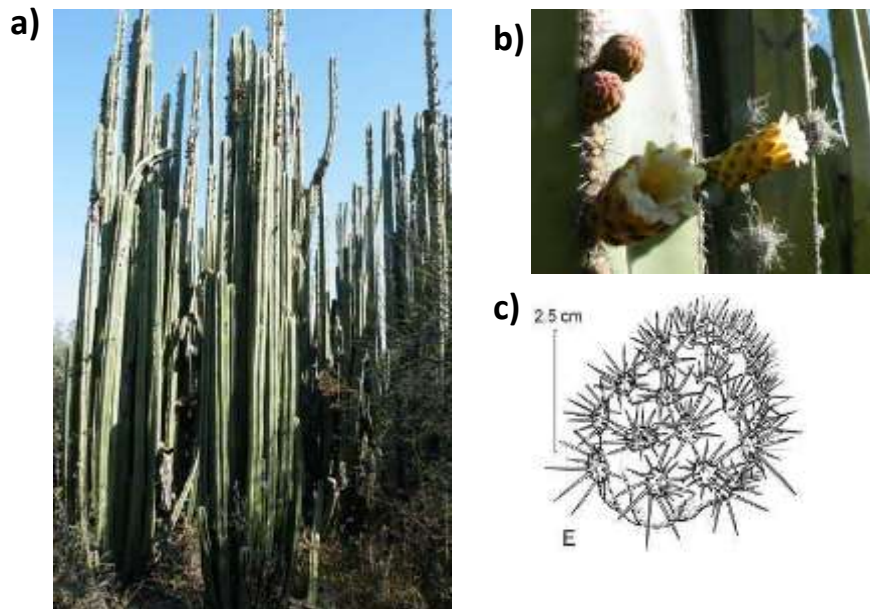
**Nombre Científico:** *Lophocereus marginatus* (DC.) S. Arias y Terrazas, 2009

#### **Estatus de conservación**

Esta especie no se encuentra contemplada en la NOM-059-SEMARNAT-2010. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) la cataloga como una especie con Datos deficientes para considerarla en riesgo (DD), mientras que la CITES la incluye en su Apéndice II.

## Descripción

Es una planta columnar erecta, simple o poco ramificada, de 3 a 5 m de altura, y de 8 hasta 20 cm de diámetro, de color verde oscuro. Tiene de 4 a 7 costillas. Las **areolas** son grandes, alargadas, muy próximas entre sí, con fieltro grisáceo claro. Las **espinas** radiales 7, muy cortas, de 2 hasta 20 mm de largo, gruesas, al principio rojizas luego morenas y después blanco grisáceas. Las espinas centrales de 1 a 2, semejantes a las radiales pero un poco más largas, de 1 a 1.5 cm y más gruesas. Las **flores** son nocturnas y diurnas (Dar et al., 2006), tubulares, cilíndricas, de 3 a 5 cm de largo; segmentos, exteriores del perianto blanco verdosos o rojizos (**Figura 8b**). El **fruto** es globoso de 4 cm de diámetro, carnoso, rojo amarillento, provisto de areolas caducas con lana y espinas. Las **semillas** miden de 3.5 a 4 mm de largo; testa morena casi negra, brillante, con hilo basal (**Figura 8**) (Bravo-Hollis, 1978).



**Figura 8.** *Lophocereus marginatus*: **a)** Individuo adulto (Fuente: NaturaLista Amante Darmanin), **b)** Flor de un individuo (Foto: Carrillo Carbajal M.A.) y **c)** Fruto (Ilustrado por Anabel Duarte).

#### 8.2.4. *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console

##### **Sinonimia**

*Cereus aquicaulensis* Pfeiff; *Cereus garambello* Haage ex CFFörst; *Cereus geometrizans* Mart. ex Pfeiff; *Cereus gladiator* Otto & A. Dietr; *Cereus pugionifer* Lem; *Myrtillocactus geometrizans* f. *cristatus* PVHeath; *Myrtillocactus geometrizans* var. *grandiareolatus* (Bravo) Backeb; *Myrtillocactus geometrizans* f. *hintonii* WAFitz Maur; *Myrtillocactus geometrizans* var. *pugionifera* (Lem.) Consola; *Myrtillocactus grandiareolatus* Bravo; *Myrtillocactus hertrichii* Houghton y *Myrtillocactus pugionifer* (Lem.) A. Berger (WFO, 2023).

**Taxonomía** (tomado de CONABIO, 2023).

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Echinocereae

Género: *Myrtillocactus*

Especie: *geometrizans*

**Nombre científico:** *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console, 1897

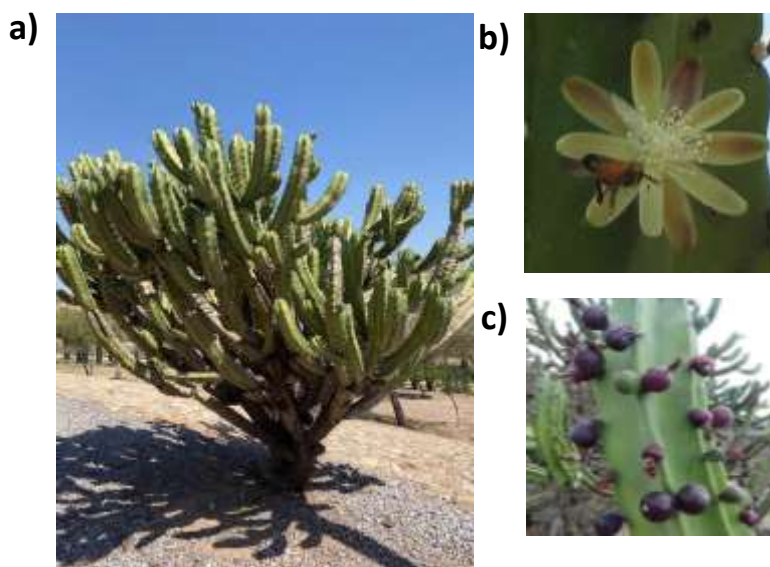
##### **Estatus de conservación**

Esta especie no es contemplada por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. En la Lista Roja de la UICN está, En preocupación menor (LC). En la CITES en el Apéndice II.



## Descripción

Es una planta arborescente candelabriforme de 4 m de alto. Tronco bien definido y copa de 5 m de diámetro. Sus tallos son de color verde azulado con 5 a 6 costillas y de 2 a 3 cm de alto. Las **areolas** son distantes entre sí de 1,5 a 3 cm, lanosas. Las **espinas** son radiales, cortas, generalmente 5, a veces 8 o 9, de 2 a 10 mm de largo de color rojizas cuando son jóvenes, algo aplanadas en la base. La espina central es muy grande, en forma de daga, aplanada lateralmente, de 1 a 7 cm de largo y de 6 mm de ancho de color negro. Las **flores** son diurnas (Islas-Barrios et al., 2021), tubulares, de 2.5 a 3.5 cm de ancho de color blanco verdoso; varias en la misma areola. Los estambres son numerosos, excepto cuando la flor está bien abierta; lóbulos del estigma de 3 a 5. El **fruto** es pequeño de 1 a 2 cm de diámetro, globoso, moreno purpúreo, sin espinas, es comestible, (Bravo-Hollis, 1978). Las **semillas** miden 1.5 a 1.6 mm de largo y cerca de 1.1 mm de ancho (Arias et al., 2012, **Figura 9a, b y c**).



**Figura 9.** *Myrtillocactus geometrizans*: **a)** Individuo adulto (Fuente: NaturaLista González Claudia), **b)** Flor de un individuo adulto (Foto: Carrillo Carbajal M.A.) y **c)** Frutos (Mendiola González E.).

### 8.2.5. *Pachocereus militaris* (Audot) DRHunt

#### **Sinonimia**

*Backebergia militaris* (Audot) Bravo ex Sánchez-Mej; *Backebergia chrysomallus* (Lem.) Bravo; *Cephalocereus chrysomallus* (Hemsl.) K. Schum; *Cephalocereus militaris* (Audot) HEMoore; *Cereus militaris* Audot; *Mitrocereus militaris* (Audot) Bravo; *Mitrocereus chrysomallus* (Lem.) Backeb; *Pachocereus chrysomallus* (Hemsl.) Britton & Rose; *Pilocereus chrysomallus* Lem; *Pilocereus militaris* Salm-Dyck (WFO, 2023).

#### **Taxonomía** (tomado de CONABIO, 2023)

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Echinocereae

Género: *Backebergia*

Especie: *militaris*

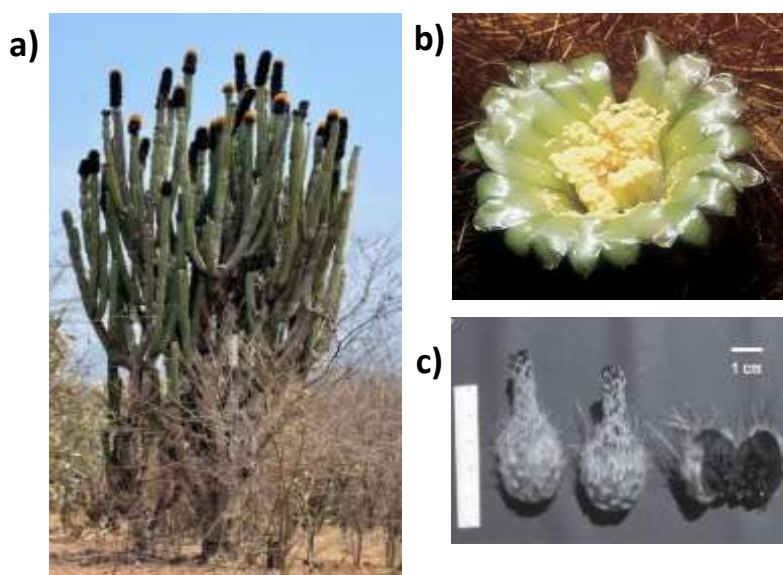
**Nombre científico:** *Pachocereus militaris* (Audot) DRHunt

#### **Estatus de conservación**

Esta especie se encuentra Sujeta a protección especial (Pr) en NOM-059-SEMARNAT-2010. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en su Lista Roja la considera como Vulnerable (VU) y la CITES la incluye en el Apéndice I.

## Descripción

Es una planta arborescente de 5-6 m de alto. Sus tallos son de color verde con 8 a 10 costillas. Las **areolas** son circulares o ligeramente elípticas, distantes entre sí de 10 a 33 mm. Tiene 12 **espinas** radiales grises de 8 a 10 mm de largo y 1 a 3 espinas centrales de 6 a 10 mm de largo (Vázquez-Sánchez et al., 2016). Las areolas de la zona floral están dispuestas en espiral formando un cefalio de aspecto gorro militar de 25 a 30 cm de largo y 18 a 20 cm de diámetro; estas areolas llevan abundante lana color beige, cerdas y espinas setosas muy numerosas 50 o 60, de 5.5 cm de largo, en la parte superior del cefalio son color amarillo ámbar más abajo de color amarillo dorado hasta café rojizo y negro las inferiores. Las **Flores** son nocturnas, tubulares de 6 a 7 cm de largo y 3.5 a 4 cm de diámetro; segmentos exteriores del perianto verdes, ligeramente rojizos; segmentos interiores color blanco verdoso; estambres numerosos; filamentos blancos; anteras color amarillo claro; estilo de 3 cm de largo, blanco; lóbulos del estigma 5, de 4 mm de largo. **Fruto** oblongo, de 3.5 cm de largo y 2 cm de diámetro, al principio carnoso, color rojo vino y de olor sui generis, pronto seco. **Semillas** de 4 mm de largo y 3 mm de diámetro, testa negra, brillante, (Bravo-Hollis, 1978) (**Figura 10a, b y c**).



**Figura 10.** *Pachycereus militaris*: **a)** Individuo adulto (Fuente: NaturaLista Joseph Scheer), **b)** Flor en cefalio (Tomado de Cattabriga, 2004) y **c)** Frutos (Tomado de Arias y Terrazas, 2008).

### 8.2.6. *Pachycereus pringlei* (S. Watson) Britton & Rose

#### **Sinonimia**

*Cereus calvus* Engelm. ex JMCoult; *Cereus pringlei* S. Watson; *Cereus pringlei* var. *calvus* MEJones; *Pachycereus calvus* (Engelm. Ex JMCoult.) Britton & Rose; *Pachycereus pringlei* f. *calvus* (Engelm. ex JMCoult.) PVHeath; *Pachycereus pringlei* f. *constrictus* PVHeath; *Pachycereus pringlei* f. *cristatus* PVHeath; *Pachycereus pringlei* f. *gibbosus* PVHeath; *Pachycereus titan* (Engelm. Ex JMCoult.) Britton & Rose y *Pilocereus pringlei* (S. Watson) FACWeber

#### **Taxonomía** (tomado de CONABIO, 2023)

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Echinocereae

Género: *Pachycereus*

Especie: *pringlei*

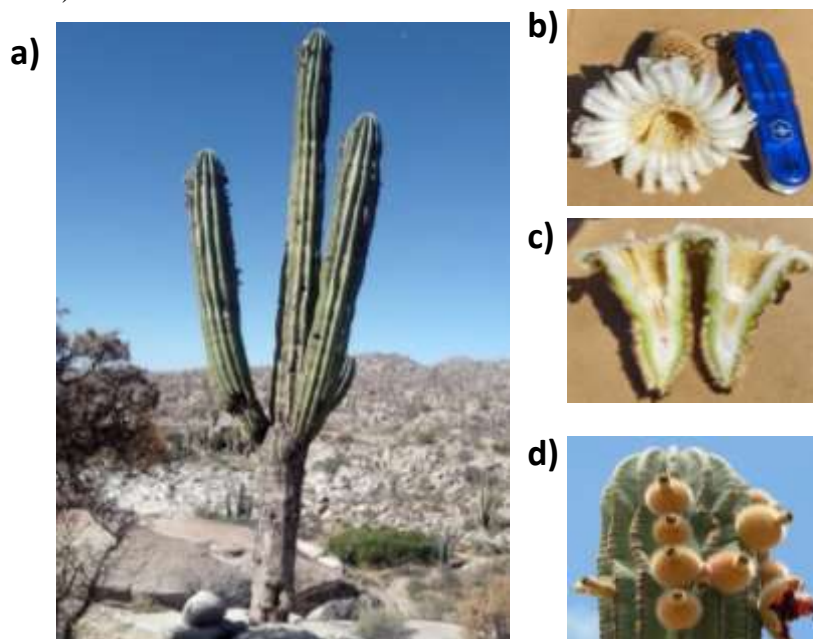
**Nombre científico:** *Pachycereus pringlei* (S. Watson) Britton & Rose

#### **Estatus de conservación**

Esta especie no se encuentra en riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. La Lista Roja de la IUCN la considera En preocupación menor (LC) y CITES la incluye en el Apéndice II.

## Descripción

Planta arborescente-columnar de 15 a 20 m de alto y 1.5 m de diámetro (Turner et al., 1995). Sus tallos son de color verde con 10 a 15 **costillas**, típicamente genera de 2 a 11 ramificaciones (Medel-Narváez et al., 2006). Las **espinas** son variables; en las plantas jóvenes miden como 12 cm de largo y son todas negras; en plantas viejas casi siempre faltan. Las **flores** son nocturnas y diurnas llegan a medir 7.6 a 9.6 cm; segmentos interiores del perianto blancos, anchos, extendidos; estambres blancos y con tinte rosa, botones florales verdosos, la zona floral comprende cerca de 2 m del ápice hacia abajo. Los frutos son globosos de color blanco, rojo o morado cubierto por fieltro y cerdas parecidas a espinas, mide de 5 a 7 cm de diámetro, la cual es comestible y contiene una gran cantidad de semillas grandes, de testa negra delgada, (**Figura 11a, b y c**) (Turner et al., 1995; Fleming et al., 1994; Bravo-Hollis, 1978).



**Figura 11.** *Pachycereus pringlei*: **a)** Individuo adulto en Área Natural Protegida Valle de los Cirios (Baja California), **b)** Flor, **c)** Corte longitudinal de una flor (Foto: S. López-Torralba) y **d)** Frutos (Foto por Mendiola González E.).

### **8.2.7. *Stenocereus queretaroensis* (FACWeber ex Mathsson) Buxb.**

#### **Sinonimia**

*Cereus queretaroensis* FACWeber ex Mathsson; *Glandulicereus queretaroensis* (FACWeber ex Mathsson) Guiggi; *Lemaireocereus queretaroensis* Britton y Rose; *Pachycereus queretaroensis* (FACWeber ex Mathsson) Britton y Rose; *Rathbunia queretaroensis* (FACWeber ex Mathsson) PVHeath; *Ritterocereus queretaroensis* (FACWeber ex Mathsson) Backeb (WFO, 2023).

#### **Taxonomía** (tomado de CONABIO, 2023)

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Echinocereae

Género: *Stenocereus*

Especie: *queretaroensis*

#### **Nombre científico**

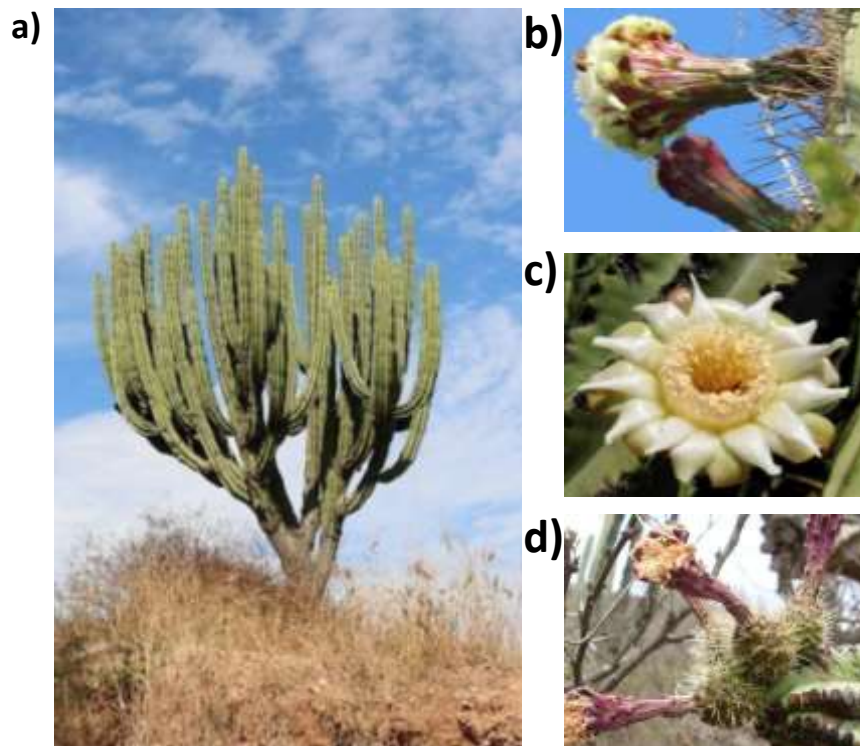
*Stenocereus queretaroensis* (FACWeber ex Mathsson) Buxb.

#### **Estatus de conservación**

Esta especie no se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010. La Lista Roja de la UICN la contempla como una especie En preocupación menor (LC) y CITES la incluye en el Apéndice II.

## Descripción

Es una planta arborescente, candelabroiforme de 6 m de alto y copa amplia de 4 m de diámetro. Las ramas tienen 15 cm de diámetro de color verde, a veces con tinte rojizo. Tiene de 6 a 8 **costillas** y areolas distantes entre sí de 1 cm, con fieltro café oscuro casi negro, con 6 a 9 espinas radiales y 2 a 4 espinas centrales gruesas. Las **flores** son nocturnas, crecen a los lados de las ramas de la mitad hacia el ápice, son infundibuliformes, de 10 a 12 cm de largo, segmentos exteriores del perianto espatulados, rojizos; los interiores blancos con leve tinte rosa. El **fruto** es globoso hasta ovoide de 6 cm de largo, rojizo (Bravo-Hollis, 1978; Pimienta y Tomas, 1994) (**Figura 12**).



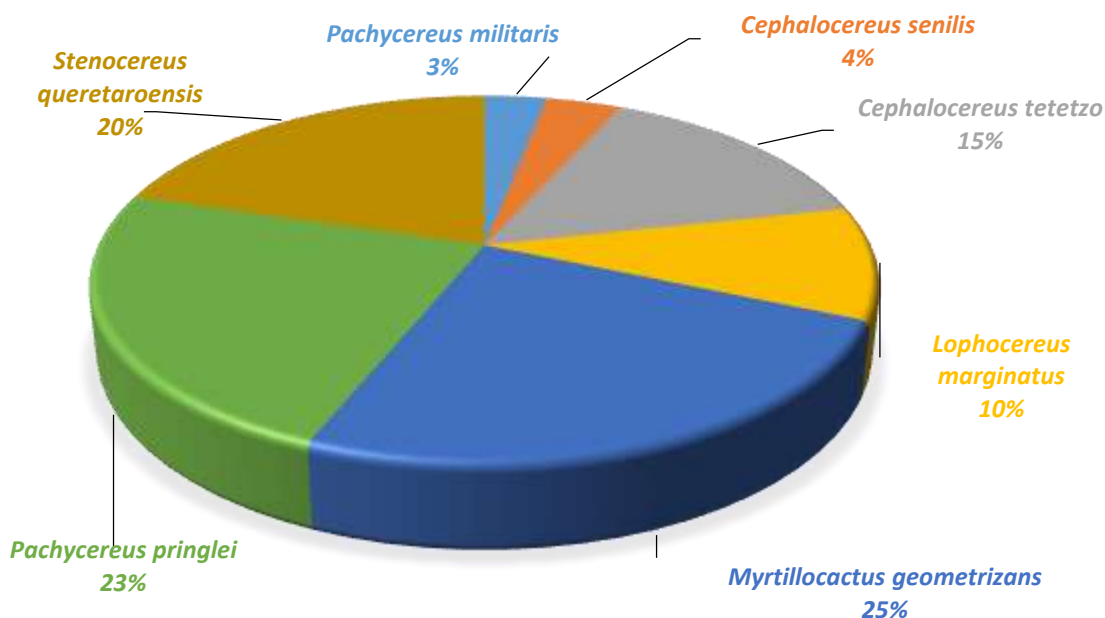
**Figura 12.** *Stenocereus queretaroensis*. a) Individuo adulto (Foto por Álvarez Ruiz J.A.), b y c) Flor (Foto por Álvarez Ruiz J.A.) y d) Frutos en maduración con restos del perianto (Foto por Roberto, NaturaLista).

### 8.3. Importancia ecológica

En total se han recopilado 327 trabajos relacionados con el estudio de la biología reproductiva, dinámica poblacional y ecología de las siete especies de cactáceas arbóreas. De estos 87.7% son publicaciones científicas, 4.68% tesis de licenciatura, 5.85% tesis de maestría y 1.75% tesis de doctorado.

Las revistas con más publicaciones son Journal of Arid Environment (30%), Cactáceas y Suculentas Mexicanas (5.83%) y Botanical Sciences (4.17%).

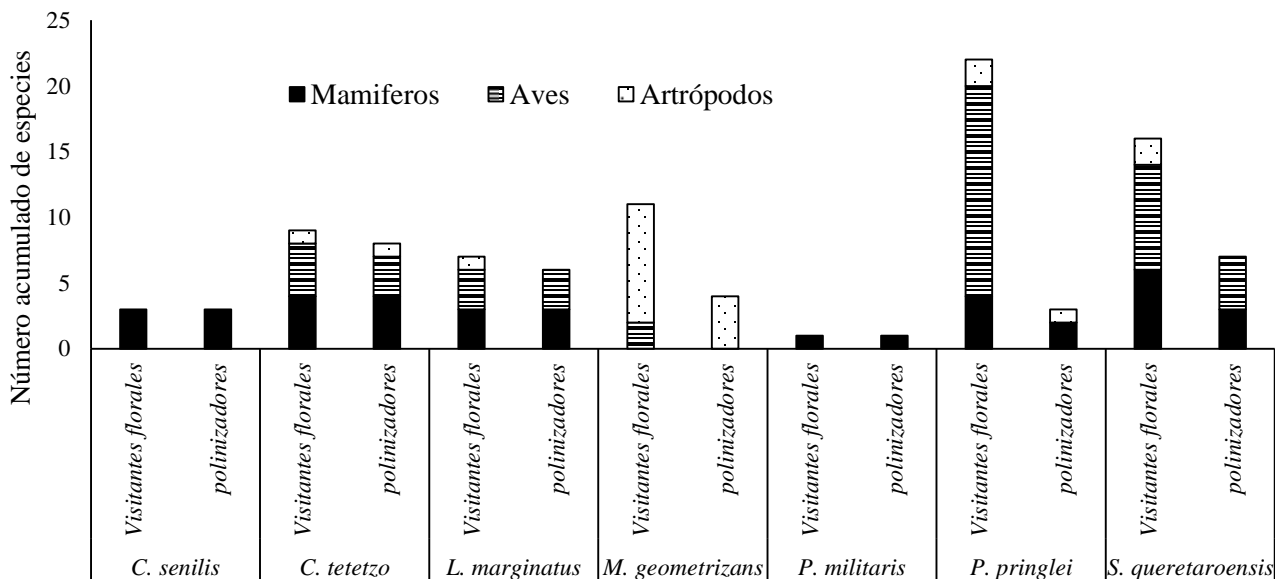
Las especies con más reportes científicos son *M. geometrizzans* 25%, *P. pringlei* 23%, *S. queretaroensis* 20% y *C. tetetzo* 20% y en menor medida las especies *C. senilis* 4% y *P. militaris* 3% (**Figura 13**).



**Figura 13.** Porcentaje de trabajos publicados de 1990 – 2022 por especie (N=327 reportes científicos).



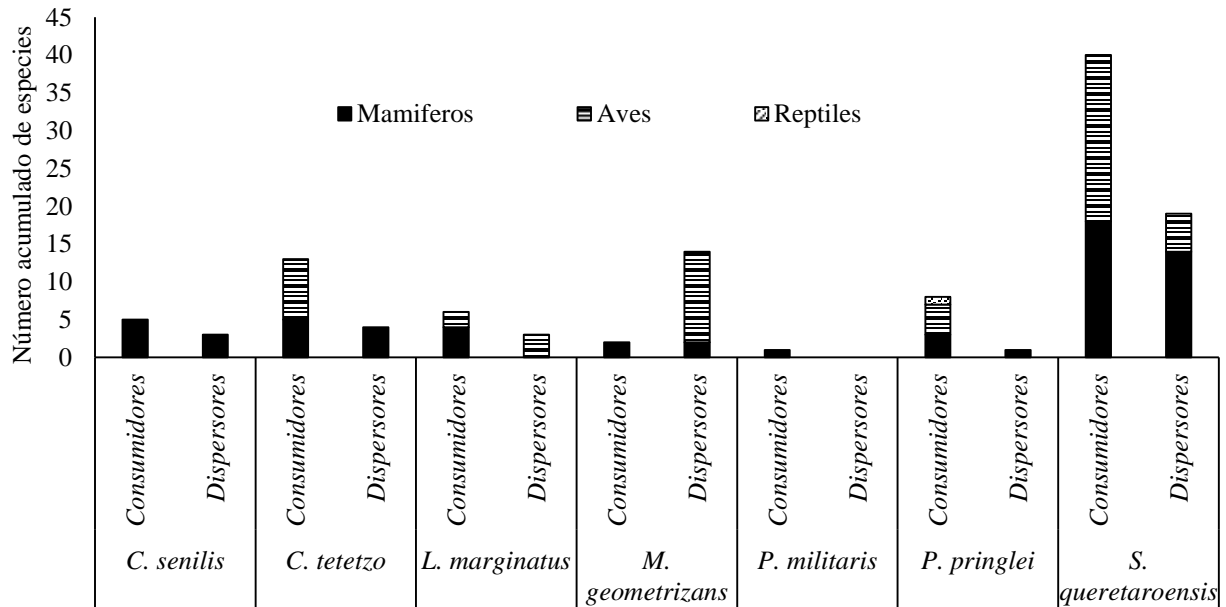
Dentro de la revisión de la literatura, se reporta como visitantes florales a murciélagos, aves y artrópodos. De estos visitantes florales algunos cumplen la función de ser polinizadores. En la **gráfica 14**, se presenta el número acumulado de visitantes florales y polinizadores reportados en la literatura para cada especie de cactácea.



**Figura 14.** Número de visitantes florales y polinizadores reportados en la literatura para las siete especies de cactáceas arbóreas.

De la misma manera algunas especies de visitantes, al terminar el periodo de floración, pueden consumir en mayor o menor medida los frutos y aunado al comportamiento de estos animales que, después de ingerir sus alimentos, buscan sitios para descansar y perchar en sitios seguros, convirtiéndose así en dispersores de semillas de estas especies (**Figura 15**). Cabe destacar que para la especie *Pachycereus militaris* no se obtuvieron

trabajos relacionados a sus dispersores de semillas y solo se obtuvo un trabajo de Rojas-Martínez et al., (1999), quienes reportan que esta especie ofrece recursos florales y frutos a *Leptonycteris curasoae* por lo que es necesario realizar más esfuerzo de investigación.



**Figura 15.** Número acumulado de consumidores del fruto y dispersores de semillas de las especies de estudio.

### 8.3.1. Datos ecológicos de las especies de estudio

#### *Cephalocereus senilis*

Esta especie tiene un crecimiento lento, aproximadamente 1 cm al año, por lo cual el tiempo que los individuos tardan en sobrepasar el primer metro de altura, es de casi de 50 años (Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2014). Puede llegar a medir hasta 15 m de altura (Bravo-Hollis, 1978). Florece de los 60 a los 200 años (Hernández-Soriano, 2006).

La especie es hermafrodita, sus flores son nocturnas de color blanco rosado o verde, abriendo al anochecer (21:00) y cerrando en la mañana (11:00) (Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2014). Presenta botones durante el mes de mayo y flores y frutos de mayo a julio (Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2014).

Ecológicamente esta especie es importante al proporcionar a los murciélagos herbívoros néctar, polen y frutos. A su vez, los murciélagos *Leptonycteris yerbabuena*, *Choeronycteris mexicana*, *Glossophaga soricina* que habitan en la Barranca de Metztitlán polinizan sus flores o dispersan sus semillas (Cornejo-Latorre et al. 2011) (**Anexo 1**). El Cacto Viejito forma parte del hogar de numerosas aves canoras y de ornato como el Jilguero (*Myadestes occidentalis*), el Cardenal (*Cardinalis cardinalis*), Colorín Azul (*Passerina cyanea*), Zenzontle (*Mimus polyglottos*), Pinzón Mexicano (*Carpodacus mexicanus*) y Aguacatón (*Melanotis caerulescens*) (CONABIO, 2010).

### *Cephalocereus tetetzo*

Esta especie tiene un crecimiento lento, el cual se restringe a la época de lluvias, de junio a septiembre (Núñez 1993). La reproducción inicia cuando las plantas miden alrededor de 2 m de altura (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991).

La especie es hermafrodita, sus flores son blanquecinas y principalmente nocturnas, abren al anochecer (20:00) y cierran en la mañana (06:00). (Godínez-Álvarez et al., 1999). La temporada de floración se presenta de mediados de mayo hasta finales de junio (Godínez-Álvarez et al., 1999) y fructificación entre junio y julio (Guzmán, 2003).

Esta especie proporciona alimento para murciélagos y aves los cuales consumen los frutos que son blanquecinos y se abren cuando aún están en la planta, mientras aves y especies de artrópodos consumen las semillas caídas (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Los murciélagos *Choeronycteris mexicana* Tschudi y *Leptonycteris curasoae* Miller son los únicos polinizadores que promueven la producción de semillas (Valiente-Banuet et al. 1996). A su vez consumen la pulpa y escupen la mayoría de las semillas mientras manipulan la fruta en la percha, también se ha visto que transportan las semillas lejos de la planta madre antes de dejarlas debajo de las perchas (Godínez-Álvarez and Valiente-Banuet (2000) (**Anexo 1**).

### ***Lophocereus marginatus***

Es una especie hermafrodita tiene flores tubulares color rojo, más pequeñas que las reportadas para otros cactus columnares y exhibe antesis nocturna y diurna (Bravo-Hollis, 1978), abriendo al anochecer (21.00 h) y cerrando a las 16:30 h, del siguiente día (Dar et al. 2006). Tienen cantidades moderadas de néctar con concentración de azúcar en el rango preferido por colibríes (Baker y Baker, 1975; Gibson y Nobel, 1986). Siendo la temporada de floración entre febrero y mayo, mientras la fructificación se da entre abril y junio (Arias et al., 2012) justo antes del inicio de la temporada de lluvias. Con polinización efectiva, los frutos están presentes en agosto (Dar et al. 2006).

Esta especie proporciona recursos de primer orden a murciélagos, aves y artrópodos, entre ellos se mencionan tres especies de colibríes que visitan sus flores: *Amazilia violiceps*, *Cynanthus sordidus* y *Cynanthus latirostris* y dos especies de murciélagos, *Choeronycteris mexicana* y *Leptonycteris curasoae* y una especie de polilla. Los colibríes y los murciélagos *C. mexicana* y *L. curasoae* se ha visto que portan polen en la garganta y la frente lo que indica su estrecha relación en la polinización de esta especie (Arizmendi y Espinosa de los Monteros, 1996) (**Anexo 1**).

### ***Myrtillocactus geometrizans***

Es una especie hermafrodita sus flores son pequeñas de color blanco verdoso (Bravo-Hollis, 1978) el periodo de floración es de febrero a abril y la fructificación de julio a septiembre (Arias et al., 2012).

Ecológicamente se señala que esta especie incrementa la cantidad de materia orgánica en los suelos y evita la erosión, captura CO<sub>2</sub>, promueve la estabilización de suelos inestables y la infiltración de agua pluvial (Luna-Morales y Aguirre, 2001). En matorrales abiertos fuera de las áreas cultivadas, *M. geometrizzans* se presenta en alta densidad (González-Insuasti y Caballero, 2007; Luna-Morales y Aguirre, 2001).

*Myrtillocactus geometrizzans* produce pequeños frutos no dehiscentes (Pérez-Villafaña y Valiente-Banuet, (2009), los cuales son utilizados por 93 morfoespecies de artrópodos (orden: Hymenoptera, Coleoptera, Diptera, Aracnida, Hemiptera, Lepidoptera, Orthoptera y Odonata) como alimento, sitio de refugio, de apareamiento o de captura de presas (SanJuan-Trejo et al., 2021).

Islas-Barrios et al., (2021) reporta al orden: Thysanoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Diptera y Araneae como visitantes florales y como polinizadoras, especies de las familias: Apidae, Syrphidae Vespidae y Halictidae (**Anexo 1**), principalmente abejas como *Apis mellifera* (Arias et al., 1997; Rosas-García 2010; Maqueda-Días y Callejas Chavero 2018). A su vez, los frutos presentan síndrome de dispersión ornitocórico, siendo las aves *Phainopepla nitens* y *Melanerpes hypopolius* dispersores importantes de las semillas de esta especie (Pérez-Villafaña y Valiente-Banuet, 2009) (**Anexo 1**). A su vez, de acuerdo con Maqueda-Díaz & Callejas-Chavero, (2018); Islas-Barrios et al., (2021), la alta diversidad de artrópodos encontrada en *M. geometrizzans* es porque su periodo de floración es en una etapa del año diferente a la mayoría de las especies, por lo que es un recurso importante para la comunidad de artrópodos.

### *Pachycereus pringlei*

Es una especie de las más grandes y longevas, los individuos maduros viven de dos a tres siglos (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Medel-Narváez et al., 2006), llegan a medir 20 m de altura y su tronco puede llegar a 1,5 m de diámetro (Turner et al., 1995).

Ecológicamente esta especie favorece la entrada de agua al suelo, aumenta su contenido orgánico y evita la erosión (Puente, Li y Bashan, 2009). Las estructuras florales (botones, flores, frutos) proporcionan recursos de primer orden para la fauna local y migratoria en la temporada de sequía (Medel-Narváez, 2003) (**Anexo 1**).

Una gran variedad de especies animales descansa y percha en él, buscan alimento o se refugian para evitar ser depredadas (Delgado-Fernández et al. 2016). Sus brazos y raíces dan refugio y protección a aves, mamíferos y reptiles (Medel-Narváez, 2008). Algunas especies de aves forman sus nidos sobre las ramificaciones del cardón o construyen sus nidos haciendo concavidades dentro de las ramas, donde otras especies como la iguana del desierto se refugian para evitar a los depredadores, además de alimentarse (Blázquez & Rodríguez-Estrella, 1997). El tejido necrótico de los individuos de cardón muertos y en descomposición sirve de alimento para una diversidad de insectos y arácnidos (Castrezana & Markow, 2001). Arnaud et al. (2014), propusieron que los cardones, junto con otros elementos orgánicos como raíces y ramas, que son arrastrados hacia el mar en la temporada de huracanes son dispersores de fauna hacia las islas. Por lo cual es de gran importancia Delgado-Fernández et al. (2017).

### *Pachycereus militaris*

Esta especie tiene reproducción sexual y asexual. En la región del cefalio se producen muchas flores, pero generalmente sólo quedan restos de flores secas que quedan incrustadas en esta estructura lanosa durante años (Mauseth et al. 2005). No obstante, la reproducción de esta especie en gran parte es vegetativa, ya que las ramas que se desprenden y caen al suelo, activan sus areolas y forman nuevos brotes, que al principio dependen de la rama para obtener agua, minerales e incluso la energía del almidón que podrían haber sido almacenados en la rama. En poco tiempo, los brotes producen sus propias raíces y cuando la rama muere, los brotes son nuevas plantas (Mauseth et al., 2005). También en esta especie, el cefalio puede desprenderse de la parte vegetativa del tallo, con el tiempo se puede registrar nuevo crecimiento que deriva en la formación de un nuevo cefalio (Martínez-Palacios, 2007).

Esta especie tiene flores nocturnas y florece entre el otoño y el invierno (Rojas-Martínez et al., 1999). Sus flores son solitarias, infundibuliformes, de hasta 5 cm de longitud, que surgen en el cefalio (Rojas-Martínez et al., 1999).

Esta especie es utilizada como refugio y hábitat por diminutos artrópodos, ácaros, hormigas y pseudoescorpiones que vive en medio de las cerdas del Cefalio, donde encuentran condiciones microclimáticas favorables y protección contra posibles depredadores (Vásquez-Sánchez et al., 2016). También se han encontrado capullos con restos de crisálidas al lado de restos de los frutos protegidos por las espinas de esta especie (Cattabriga, 2004). Es polinizada por murciélagos, como la especie *Leptonycteris curasoae* (Rojas-Martínez et al., 1999; Arias y Terrazas, 2008) (**Anexo 1**).



### *Stenocereus queretaroensis*

Es una especie con crecimiento lento, puede llegar a alcanzar hasta 8 metros de altura (Bravo, 1978), siendo mayor el crecimiento en plantas jóvenes (de 1 a 10 años) que en adultas (> 20 años) cuando son cultivadas (Domínguez, 1995), mientras que en condiciones silvestres su crecimiento es lento, tienen bajas tasas de fotosíntesis y absorción de nutrientes, lo que permite mantener su crecimiento aún en periodos secos, el cual cesa cuando alcanzan cerca de 100 años (Grime, 1979). Loechle (1988), menciona que en plantas silvestres con bajas tasas de crecimiento son más longevas, que las que crecen rápido, debido a que éstas asignan más fotosintetizadores a características protectoras, son menos sensitivas al agotamiento de nutrientes y generalmente requieren una menor cantidad de éstos para mantener un crecimiento óptimo.

La reproducción de esta especie puede ser sexual (semilla) y asexual (esquejes o material vegetativo) (Pimienta-Barrios y Nobel, 1998). Debido al lento crecimiento de las plantas, tardan en iniciar la producción de flores y frutos, por consiguiente, usualmente se siembran segmentos de brazos (esquejes) de 60 a 150 cm de longitud, los cuales, comienzan a producir frutos un año después; no obstante, es hasta el séptimo año que se obtienen cosechas de valor comercial y la productividad se mantiene por poco más de 100 años (Zañudo-Hernández, 1998).

Tiene flores hermafroditas, grandes, con elementos del perianto rojizos, en el interior blancos o amarillentos, con leve tinte rosa; de anthesis nocturna, producen grandes cantidades de néctar (Ibarra-Cerdeña et al., 2005), características que corresponden al síndrome de

polinización quiropterófilo descrito por Faegri & Van de Pijl (1979). Florece de marzo a mayo y la fructificación es de mayo a junio (Bravo, 1978). La antesis comienza alrededor de las 20:00 h. y termina a las 12:00 h del día siguiente (Gudiño y De la Barrera, 2014).

*Stenocereus queretaroensis* al ser una planta quiropterófilo que florece durante el verano y el otoño, constituye un recurso importante durante la mayor parte del año para los murciélagos. Aunque se ha reportado que *Leptonycteris yerbabuena* es su principal polinizador, aves e insectos también son polinizadores a la vez que consumen néctar, polen y frutos de esta planta (Sahley, 1996; Tremlett et al., 2019) (**Anexo 1**).

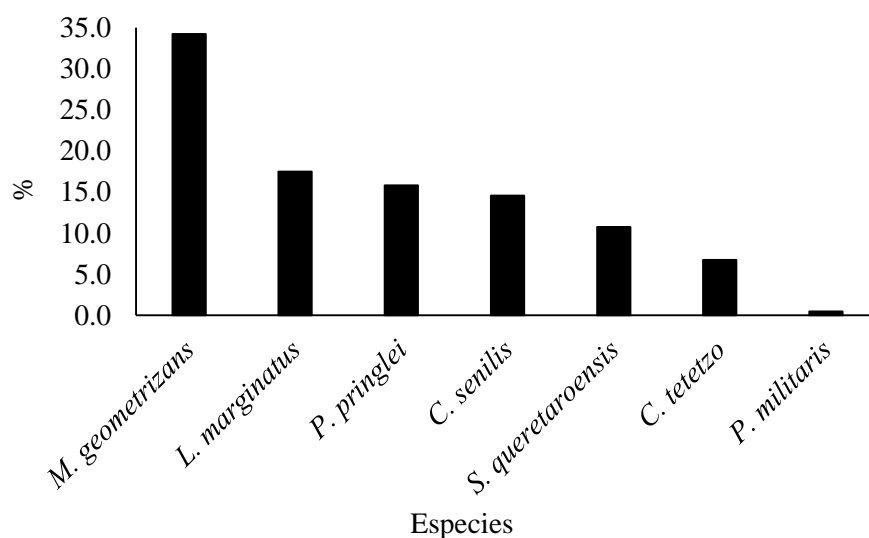
A su vez, el fruto tiene un alto número de semillas, las cuales son ingeridas por varios organismos como aves y murciélagos (que remueven del 10 al 80% de las semillas disponibles en frutos abiertos durante la noche), asegurando con ello una mayor dispersión y germinación de las mismas (Barnea et al., 1992; Soriano et al., 1991). También se ha visto que, al caer los frutos parcialmente consumidos, se observa la actividad de otro tipo de dispersores (secundarios) principalmente ratones y hormigas que son los que toman las semillas y las dispersan (Valiente-Banuet y Arizmendi, 1997) (**Anexo 1**).

## 8.4. Importancia socioeconómica

### 8.4.1. Comercio en línea

En la revisión de las páginas web que comercian cactáceas en línea, se obtuvo que los ejemplares, partes o derivados de cada una de las siete especies de cactáceas arbóreas seleccionadas, se venden a través de una o varias plataformas digitales (Marketplaces online) como Amazon, eBay, Etsy, MercadoLibre y Sodimac, así como Plantadecor la tienda en línea de Viveros Inverflor, S.L. En estas plataformas se pueden encontrar las especies utilizando el nombre científico o sinonimias, ya que los nombres comunes pueden corresponder a diversas especies.

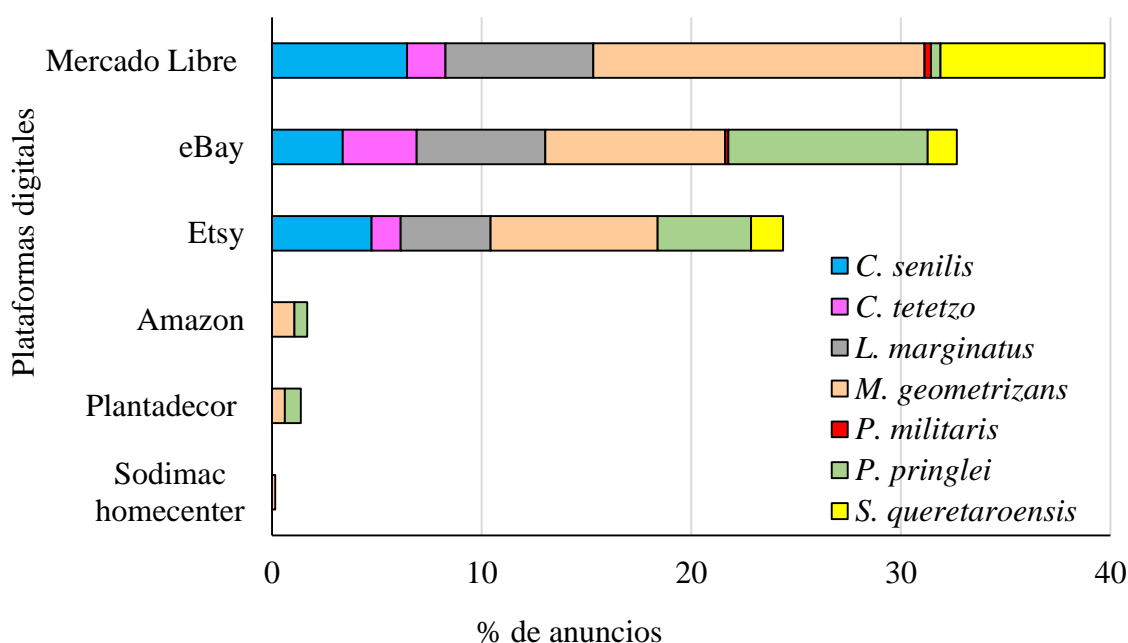
En estas plataformas digitales, se obtuvieron 652 anuncios. De estos 34.2% promocionan la venta de la especie *M. geometrizarans*; 17.5% *L. marginatus*; 15.8% *P. pringlei*; 14.6% *C. senilis*; 10.7 % *S. queretaroensis* y en menor medida *C. tetetzo* 6.7% y *P. militaris* con el 0.5% (**Figura 16**).



**Figura 16.** Porcentaje de anuncios de comercio en línea por especie de cactáceas (N=652)

La plataforma digital MercadoLibre contiene el mayor número de anuncios con 259, eBay 213 y Etsy 159 (**Figura 17**). En eBay, los envíos internacionales pueden someterse a trámites de aduana, permiso fitosanitario, tarifas adicionales, fecha en que se colectaron las semillas, si el vendedor acepta devoluciones, países a donde no se puede enviar y lugar de origen del producto en venta.

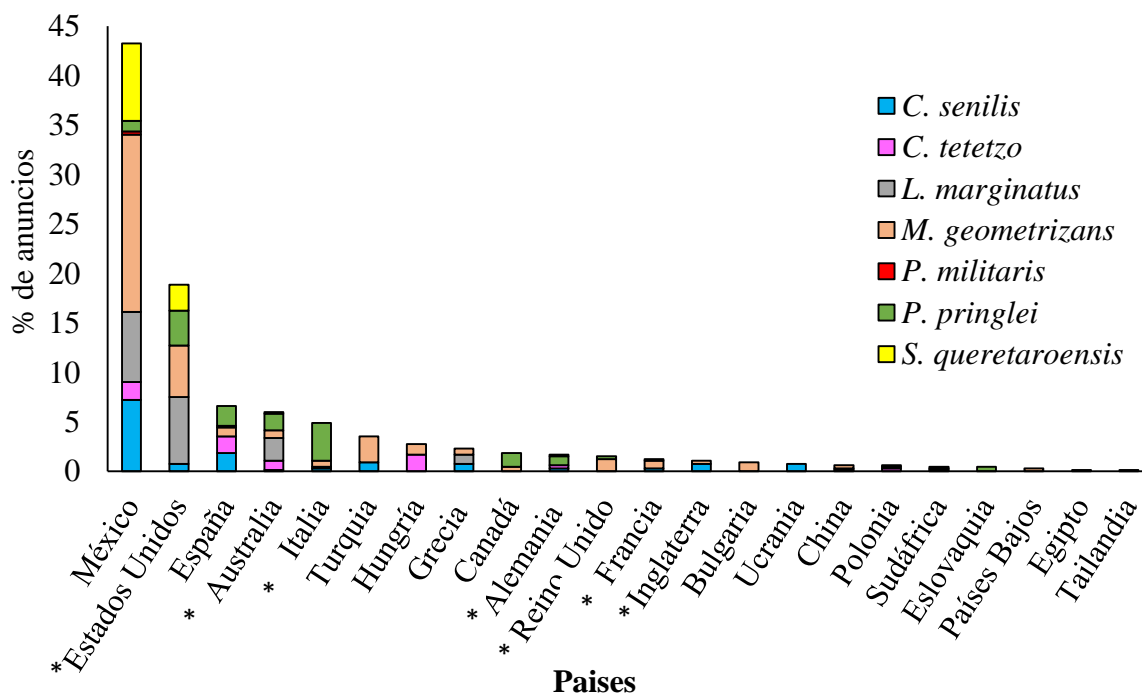
En la **figura 17**, se presenta la gráfica con las plataformas digitales y porcentaje de anuncios por especies de cactácea **arbórea**. La especie *M. geometrizans* se encuentra en venta en las siete plataformas digitales, *P. pringlei* en cinco, *P. militaris* en dos y el resto de las especies en tres plataformas digitales (**Figura 17**).



**Figura 17.** Plataformas digitales y porcentaje de anuncios por especies de cactácea **arbórea** (N=652).

De acuerdo con estas plataformas digitales, 22 países realizan la venta de alguna estructura o ejemplar de las siete especies de cactáceas arbóreas, siendo México 43.3% y Estados Unidos 18.9% los que más promociones realizan y en menor medida se encuentran promocionales provenientes de Países Bajos 0.3%, Egipto 0.2% y Tailandia 0.2% (**Figura 18**).

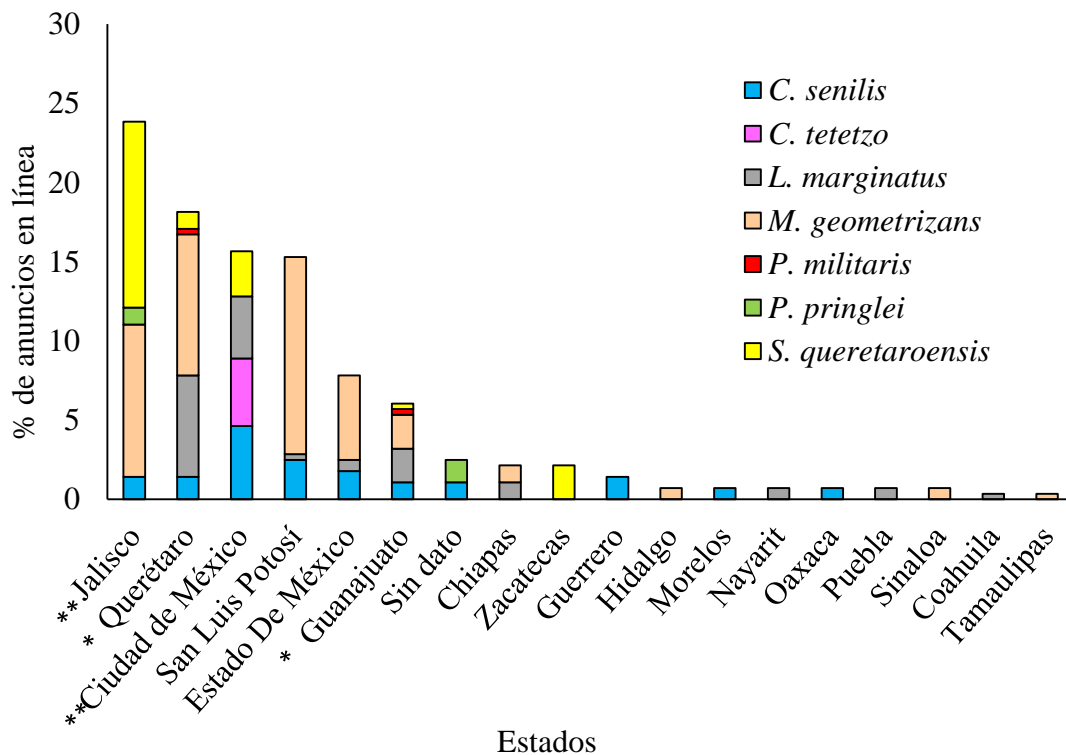
En los anuncios de ejemplares o estructuras provenientes de Alemania, Australia, Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Italia y Reino Unido se declara abiertamente que es posible que no realicen envíos a México. Es importante señalar que solamente se encontraron promocionales de *P. militaris* provenientes de México y España (**Figura 18**).



**Figura 18.** Porcentaje de anuncios de venta de cactáceas en línea por País. El (\* indica países que no hacen envíos a México).

De los 652 anuncios en total, 281 son de México, de estos 23.8% provienen de Jalisco, 18.1% de Querétaro, 15.7% de la Ciudad de México y 15.3% de San Luis Potosí. Los estados con menor número de anuncios son Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Sinaloa, cada uno con el 0.7% y Coahuila y Tamaulipas con el 0.4% respectivamente (**Figura 19**).

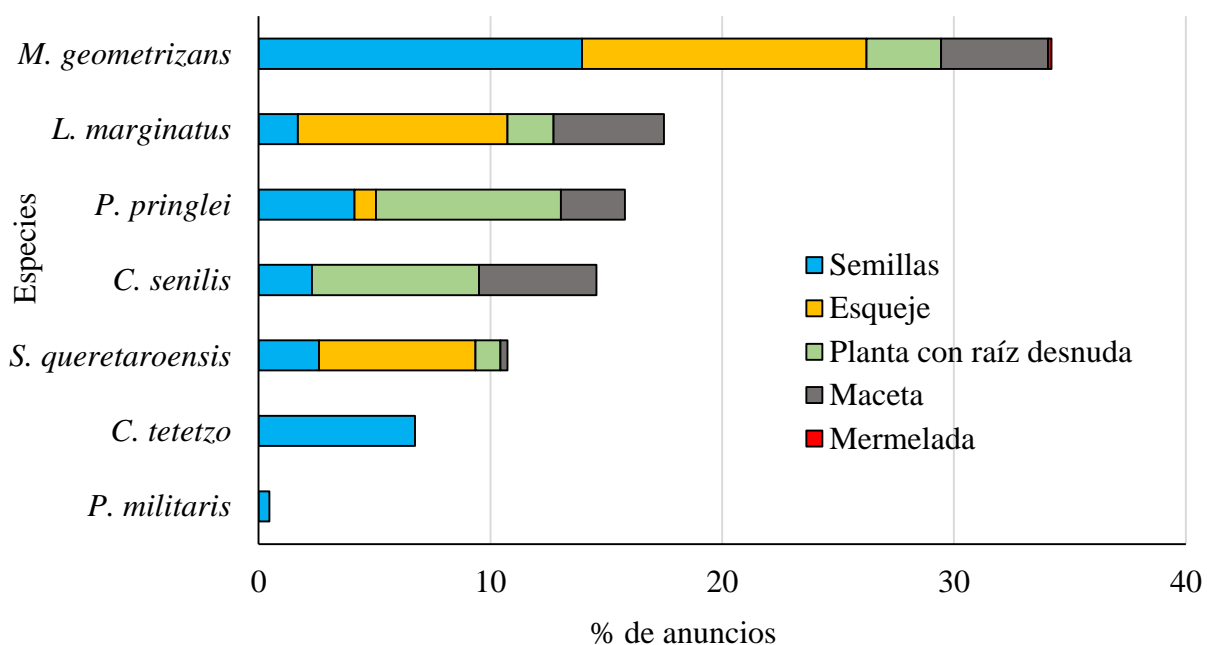
Los estados de Guanajuato y Querétaro son sitios en donde se origina la venta de cinco especies, mientras Jalisco y Ciudad de México de cuatro especies de cactáceas **arbóreas** (**Figura 19**).



**Figura 19.** Porcentaje de anuncios en línea por estado en México. El (\*, \*\* representa los estados con lugar de origen de venta de cinco y cuatro especies de cactáceas **arbóreas**, respectivamente).

En estas plataformas digitales, las tiendas tienen a la venta, ejemplares (plantas a raíz desnuda que por el traslado o tiempo de envío es necesario enviarla sin tierra y macetas), semillas y esquejes (Figura 20).

Algunos ejemplares o estructuras son más comercializados que otros por lo cual la oferta del mercado es mayor y en algunos casos a un menor costo (Tabla 7). De las especies *P. militaris* y *C. tetetzo* únicamente se obtuvieron anuncios de venta de semillas. En el caso *M. geometrizans* además de la venta de semillas, plantas a raíz desnuda, macetas y esquejes, se encontró la venta de productos elaborados a partir del fruto como mermeladas y vinos (Figura 20).



**Figura 20.** Porcentaje de anuncios de comercio en línea de ejemplares, partes o derivados por especie de cactácea arbórea (N=652)

La mayoría de las tiendas en línea ofrecen entre 10 y 20 semillas, en especial de aquellas especies con alguna categoría de riesgo, como *C. senilis* cuyo costo mínimo por 10 semillas es de \$ 26.46 pesos provenientes de México y máximo de \$379.75 MXN sin cargos de envío provenientes de España; o la especie *P. militaris* la cual tiene un costo entre los \$ 210 a \$298 MXN pesos por 10 semillas de origen mexicano (**Tabla 7**). También se encontraron algunos anuncios con ofertas de 100 semillas y en el caso de la especie *M. geometrizzans* se registraron anuncios ofertando 1000 y 10000 semillas. En la **tabla 7** se muestra el precio mínimo y máximo de ejemplares (plantas a raíz desnuda y maceta) semillas, y esquejes de las siete especies de cactáceas **arbóreas**.

**Tabla 7.** Precio en línea de las siete especies de cactáceas arbóreas, durante el periodo marzo 2022 a febrero 2023. En semillas el precio es por sobres con 10 unidades. Plantas a raíz desnuda, maceta y esqueje se muestran los valores mínimos y máximos, ya que los precios varían de acuerdo con el tamaño y la temporada. Todos los precios se muestran en MXN.

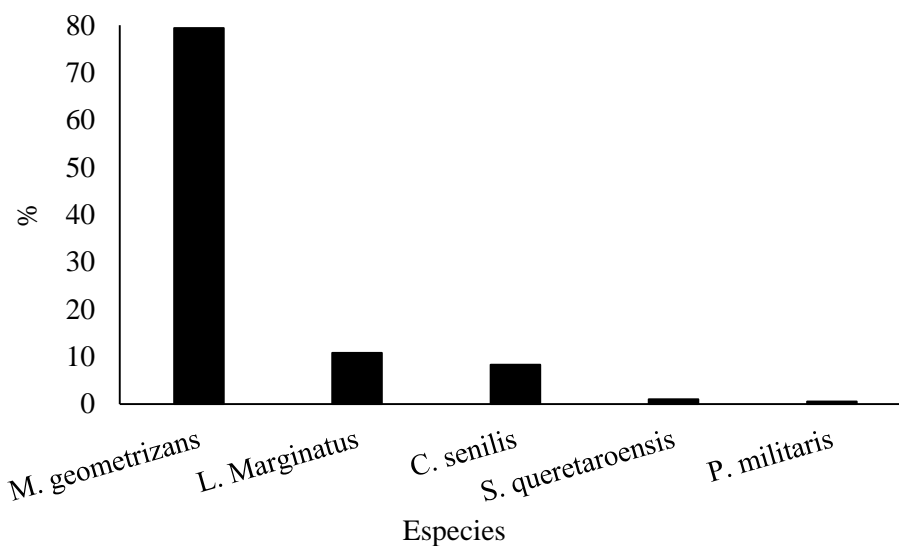
Especies	Semillas (x10)	Planta a raíz desnuda		Maceta		Esqueje (corte)	
	Precio (MXN)	Precio (MXN)	Tamaño (cm)	Precio (MXN)	Tamaño (cm)	Precio (MXN)	Tamaño (cm)
<i>Cephalocereus senilis</i>	\$ 26.46 - 379.75	\$ 119 - 3797.5	3-50	\$125 - 3 504.99	4-80	-	-
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	\$ 20.97 - 179.74	-	-	-	-	-	-
<i>Lophocereus marginatus</i>	\$ 43.33 - 576.84	\$ 69 - 1000	10 - 120	\$ 78 - 1 482.73	5 - 110	\$ 69 - 6051.3	5 - 130
<i>Myrtillocactus geometrizzans</i>	\$ 0.5 - 156.48	\$ 65.42 - 943.07	5-30	\$ 60 - 2500.27	6-22	\$ 55 - 1189.85	5-60
<i>Pachycereus militaris</i>	\$ 210 - 298	-	-	-	-	-	-
<i>Pachycereus pringlei</i>	\$ 22.98 - 514.76	\$60.62 - 23610.08	9 - 140	\$ 238.78 - 4 787.60	10-57	\$599	50 - 70
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	\$ 10 - 283.71	\$158 - 210	4-15	\$ 1050.21 - 3 290.74	8-70	\$ 549 - 1999	22 - 135



#### 8.4.2. Decomisos de cactáceas en México

Ante la solicitud realizada sobre la información de decomisos de cactáceas, la Dirección General de Inspección y Vigilancia de Vida Silvestre, Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros, informó que, después de buscar en los archivos físicos, electrónicos, bases de datos y en el Sistema Institucional de Información de la PROFEPA (SIIP) solo se cuenta con información a partir de 1995 a la fecha. Para el caso de las siete especies de cactáceas **arbóreas** en estudio, solo se tiene información de decomisos durante el periodo 1997 a 2022.

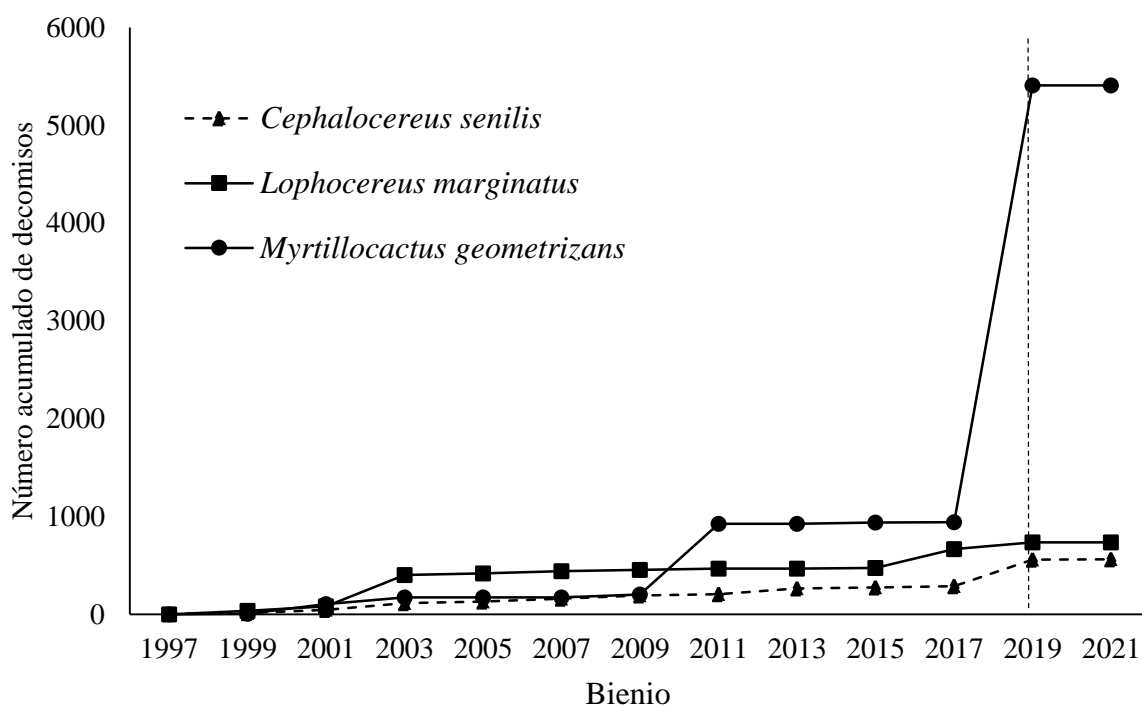
Durante este periodo se decomisaron 6811 plantas: el mayor número de ejemplares corresponde a la especie *M. geometrizzans* (79.4%), seguido de *L. marginatus* (10.8%), *C. senilis* (8.3%), *S. queretaroensis* (1%) y *P. militaris* (0.5%). De las especies *P. pringlei* y *C. tetetzo* no se reportaron decomisos (**Figura 21**).



**Figura 21.** Porcentaje de decomisos por especie de cactácea de 1997 – 2022 (N= 6811).

El número de decomisos varió durante el periodo 1997 – 2022, siendo el mayor número de decomisos de la especie *M. geometrizzans* en el año 2011 (N=724) y 2018 (N=4467). De la especie *L. marginatus* en 2002 (N=264) y 2016 (N=190) y en *C. senilis* en el año 2018 (N=269) (**Figura 22**).

En el caso de la especie *P. militaris* se tienen dos decomisos en el año 2016 (N=23) y 2021 (N=12) y de *S. queretaroensis* un registro en el año 2011 de 67 ejemplares.



**Figura 22.** Número acumulado de decomisos por especie de cactácea arbórea.

## 8.5. Distribución de las especies de estudio

La base de datos de los registros de presencia de las siete especies de cactáceas arbóreas estuvo conformada por 7,257 registros, de los cuales al depurar la base de datos (eliminando datos duplicados, sin coordenadas o localidades fuera del rango de distribución de las especies) se obtuvieron 3,935 registros finales.

La especie con menor número de registros de presencia fue *P. militaris* con 32 registros (50% se encuentra en colecciones científicas y 50% observaciones de NaturaLista) y la de mayor número fue *P. pringlei* con 1,417 registros (14.9% están en colecciones científicas y 85.1% son observaciones: NaturaLista con 1,185 observaciones; 11 de GBIF; siete registros de la Universidad de Sonora (DICTUS-USON), y tres registros del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.), seguida por *M. geometrizzans* con 1,724 registros (18.7% están en colecciones científicas y 81.3% son observaciones: NaturaLista con 1,251 observaciones albergadas en el SNIB, 11 de GBIF; 99 de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México; tres registros del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional y cuatro registros del Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo) (**Tabla 8**).

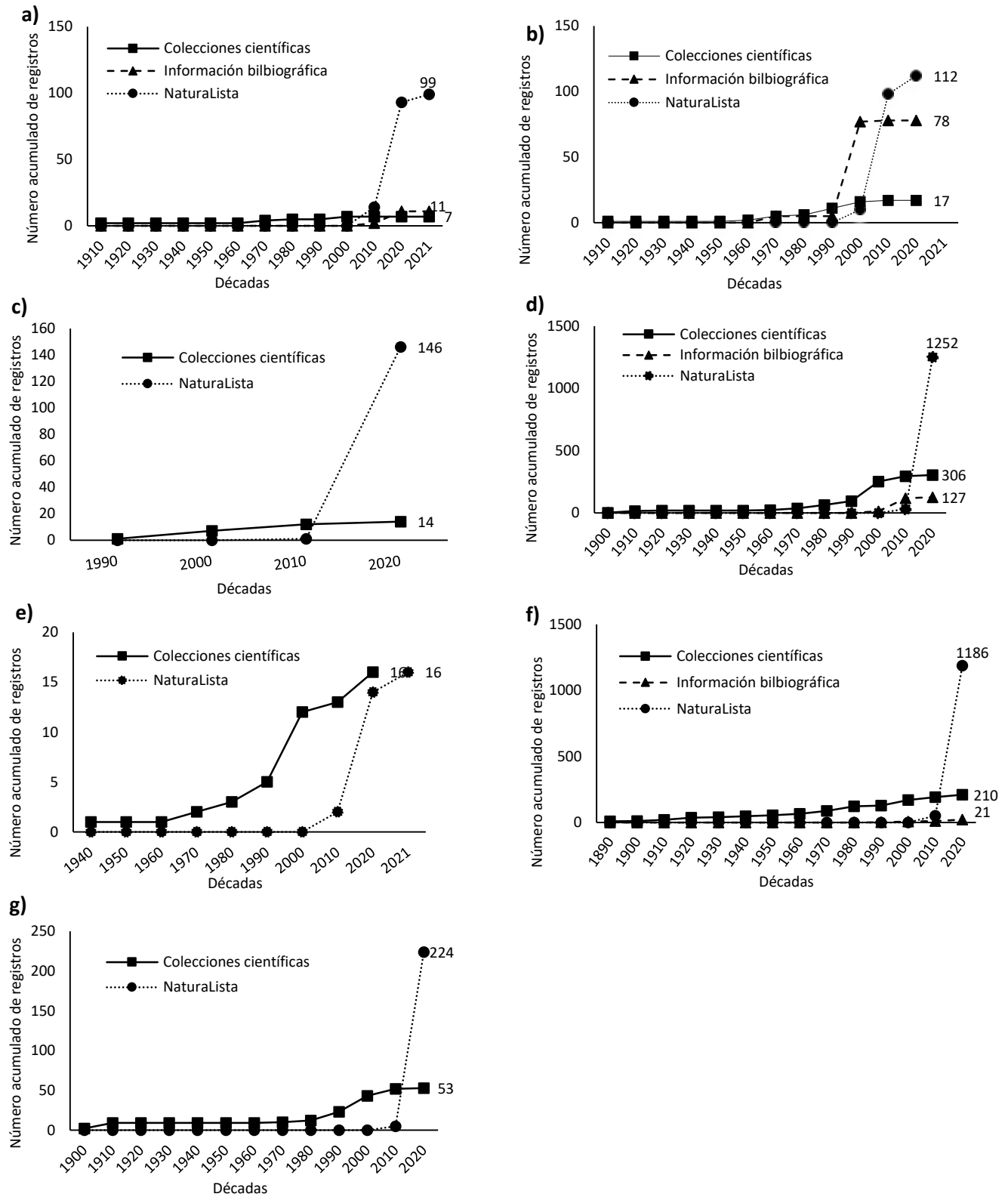
De la especie *S. queretaroensis* se obtuvieron 278 registros (14.9% están en colecciones científicas y 85.1% son observaciones: NaturaLista 224 observaciones y dos del SNIB); *C. tetetzo* cuenta con 206 registros (10.6% están en colecciones científicas y 89.3% son observaciones: NaturaLista con 52 registros, 68 de GBIF; 63 de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México (FESI-UNAM); tres del

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (IBUNAM) y tres registros del Herbario Iztacala); *L. marginatus* con 162 registros (8.6% están en colecciones científicas y 91.3% son observaciones de NaturaLista albergadas en el SNIB) y *S. queretaroensis* se obtuvieron 278 registros (14.9% están en colecciones científicas y 85.1% son observaciones: NaturaLista 224 observaciones y dos del SNIB) y *C. senilis* con 117 registros (15.4% están albergados en colecciones científicas y 84.6% son observaciones: Naturalista con 88 observaciones, 11 de GBIF y 9 de SNIB) **Tabla 8.**

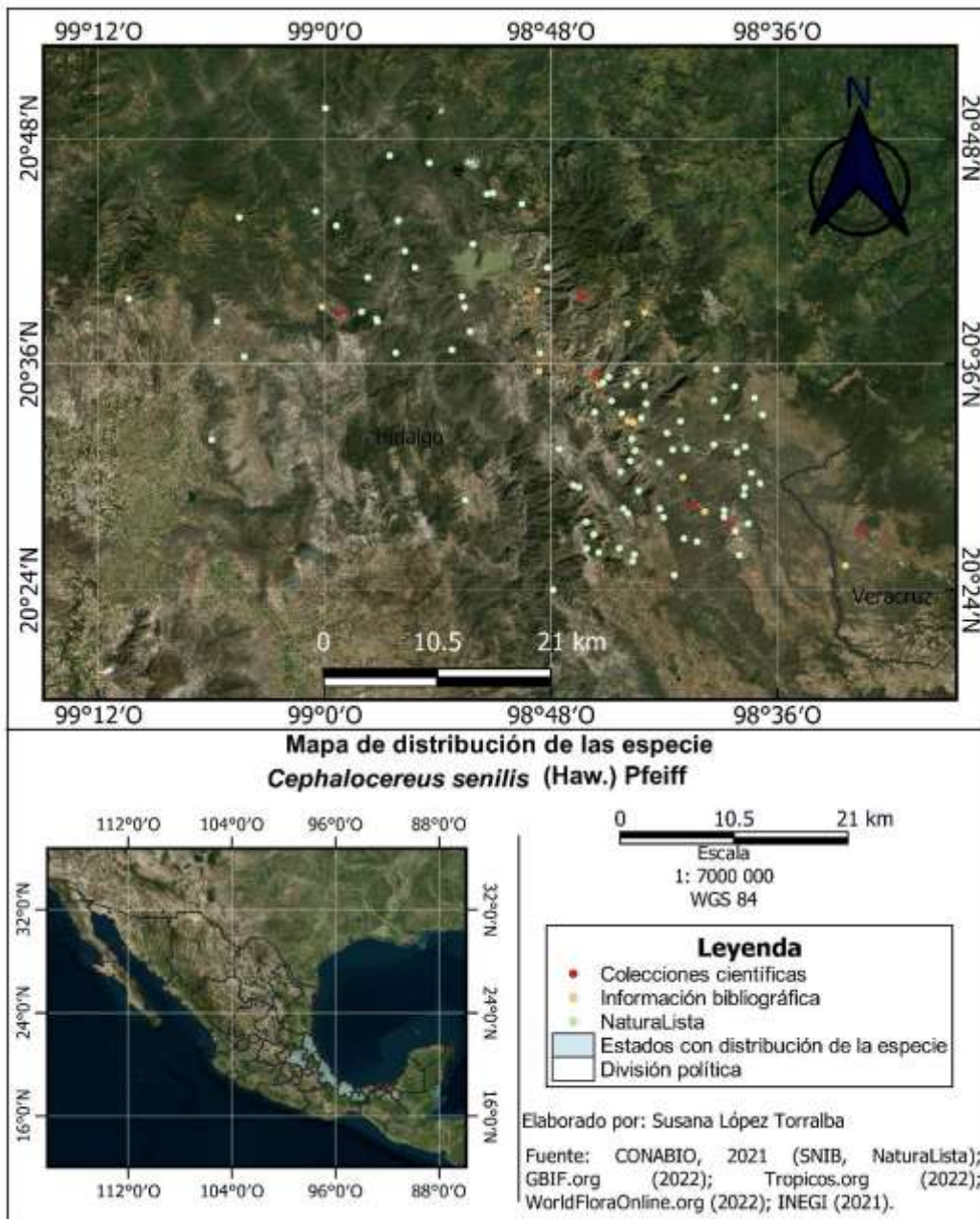
**Tabla 8.** Número de registros de recolecta de las siete especies de cactáceas arbóreas.

<b>Especies</b>	<b>Registros</b>	<b>Coordenadas duplicadas</b>	<b>Sin coordenadas</b>	<b>Coordenadas fuera del rango de distribución</b>	<b>Registros finales</b>
<i>C. senilis</i>	221	63	33	8	117
<i>C. tetetzo</i>	1,172	919	24	23	206
<i>L. marginatus</i>	729	487	25	56	161
<i>M. geometrizzans</i>	2,370	339	251	56	1,724
<i>P. militaris</i>	81	19	17	13	32
<i>P. pringlei</i>	2,181	169	557	38	1,417
<i>S. queretaroensis</i>	503	96	2	127	278
<b>Total</b>	<b>7,257</b>	<b>2,092</b>	<b>909</b>	<b>321</b>	<b>3,935</b>

La **Figura 23**, muestra la representación gráfica de la temporalidad en la que fueron recolectados los registros en las distintas colecciones científicas y observaciones de las siete especies de cactáceas arbóreas. La curva acumulada de estos registros se muestra a partir de la década en que se obtuvieron los primeros registros para la especie. En estas gráficas se observa que en la década del 2000-2010 el número de registros se duplica gracias al inicio de la plataforma NaturaLista. En las **Figuras 24-30**, se presentan los mapas de distribución geográfica conocida de las siete especies elaborados a partir de los registros finales obtenidos.

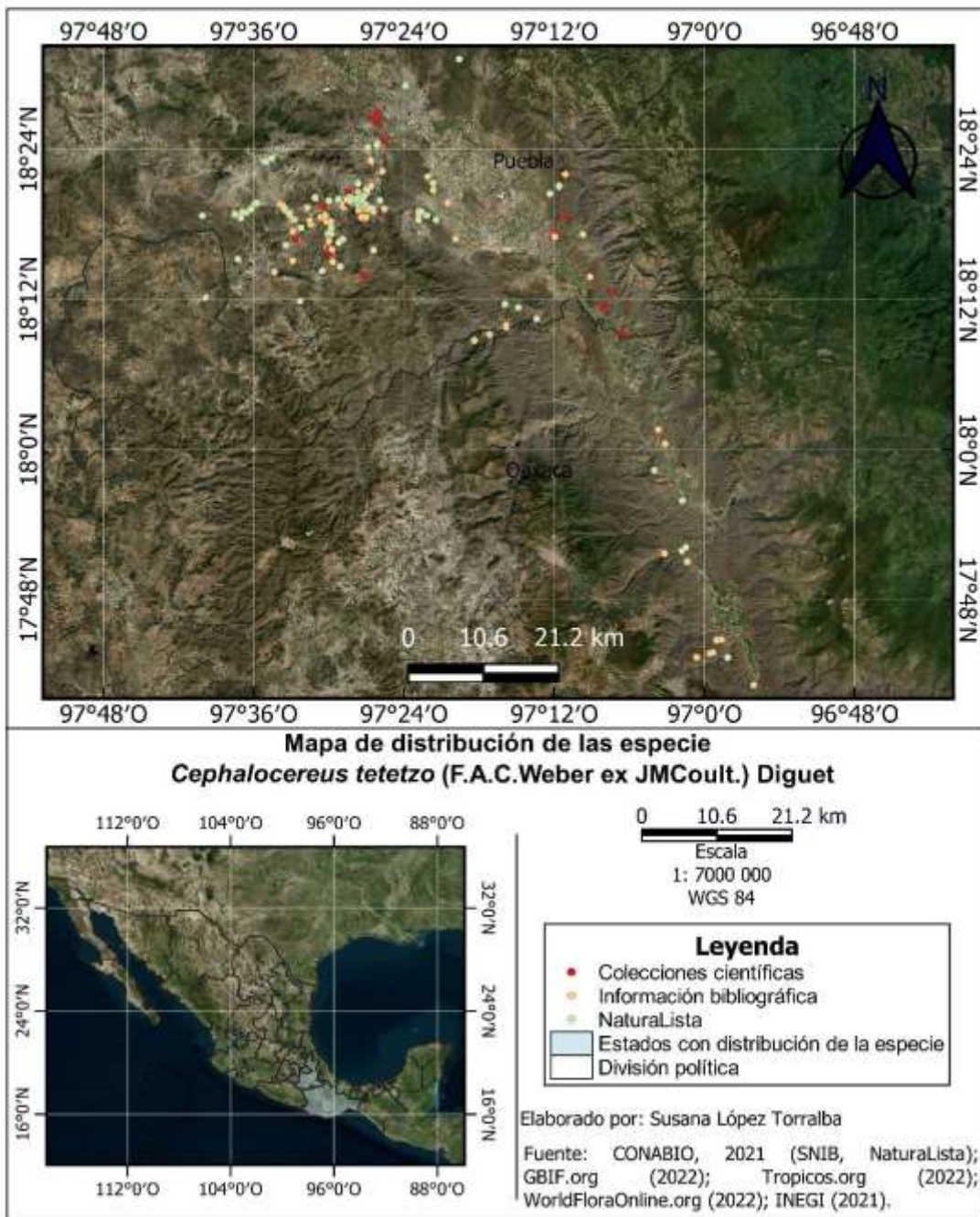


**Figura 23.** Número de registros acumulados para las siete especies de cactáceas arbóreas a partir de la primera década de recolecta: a) *Cephalocereus senilis*, b) *Cephalocereus tetetzo*, c) *Lophocereus marginatus*, d) *Myrtillocactus geometrizans*, e) *Pachycereus militaris*, f) *Pachycereus pringlei* y g) *Stenocereus queretaroensis*.



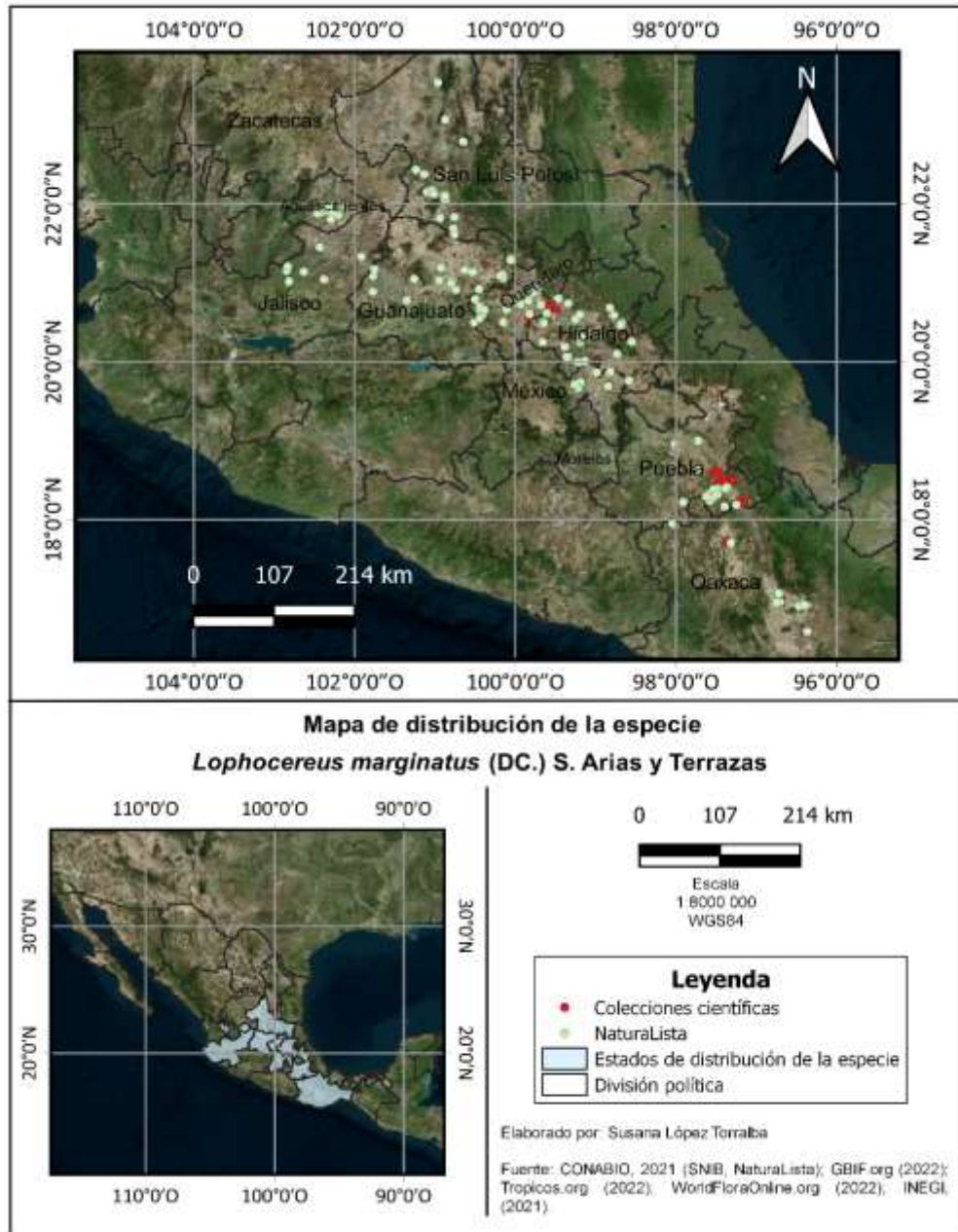
**Figura 24.** Distribución geográfica de *Cephalocereus senilis*. Registros de la especie de 1905 a 2021. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (NaturaLista).

*Cephalocereus senilis* es una especie endémica de México. Sus poblaciones se encuentran distribuidas en Hidalgo y en una localidad del estado de Veracruz (Bravo-Hollis, 1978; Guzmán et al., 2003).



**Figura 25.** Distribución geográfica de *Cephalocereus tetetzo*. Registros de la especie de 1919 a 2021. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (Naturalista).

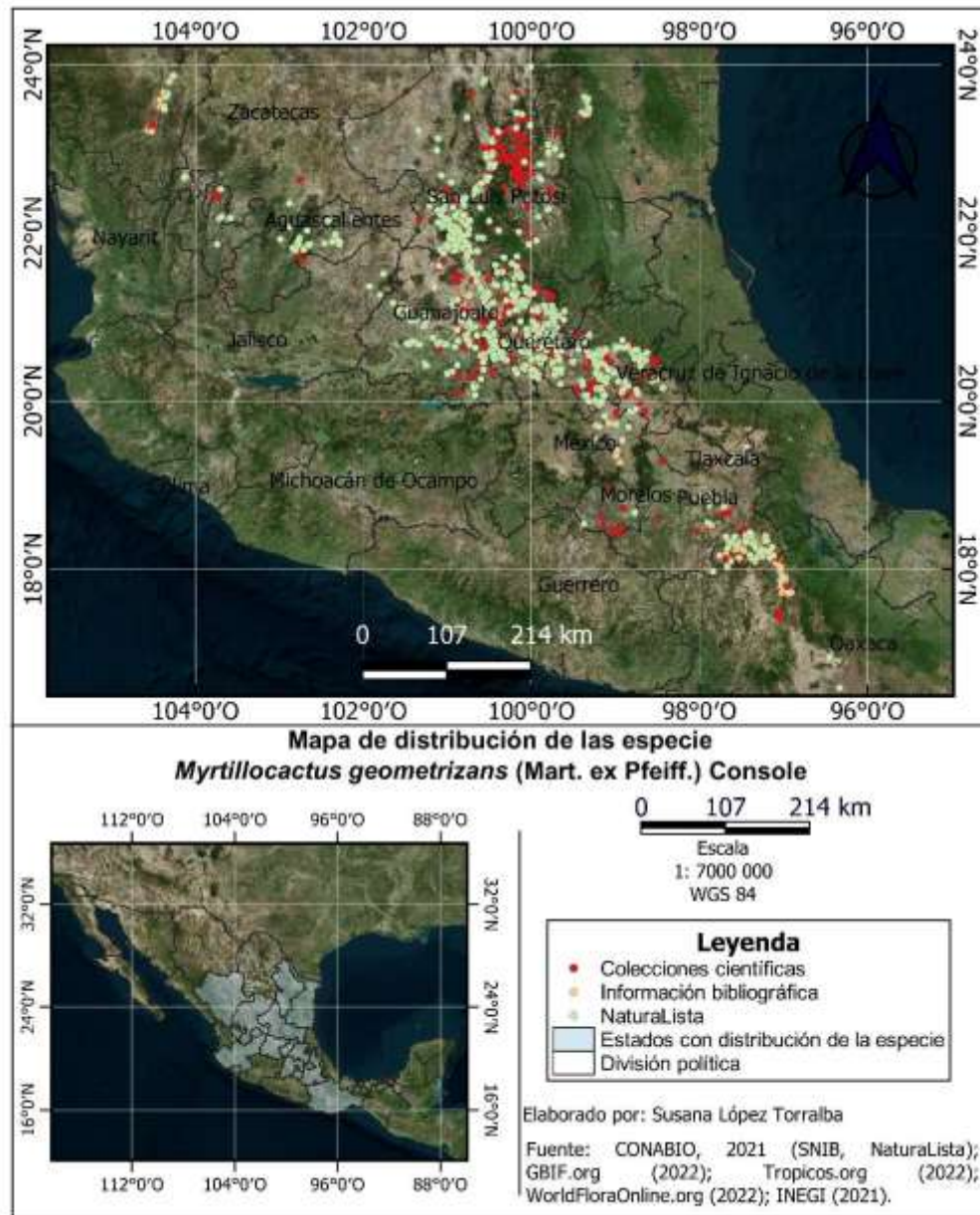
*Cephalocereus tetetzo* es una especie endémica de México. Sus poblaciones se distribuyen en Oaxaca y Puebla (Bravo-Hollis, 1978; Guzmán et al., 2003; Arias et al., 2012).



**Figura 26.** Distribución geográfica de *Lophocereus marginatus*. Registros de la especie de 1990 a 2020. Puntos rojos (colecciones científicas) y verde (Naturalista).

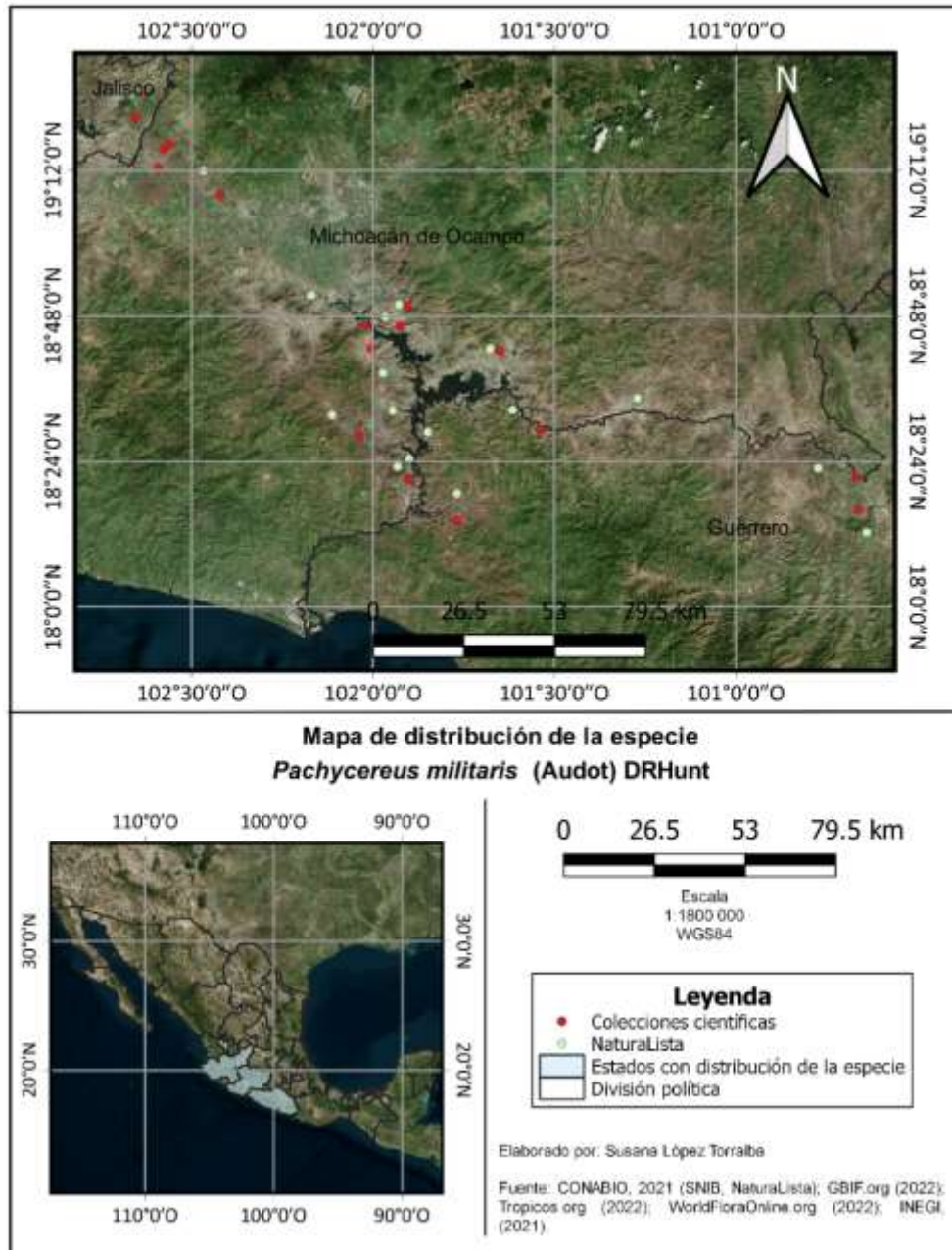
*Lophocereus marginatus* es una especie endémica de México. Sus poblaciones se distribuyen en los estados de Aguascalientes, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas (Guzmán et al., 2003; Arias et al., 2012).





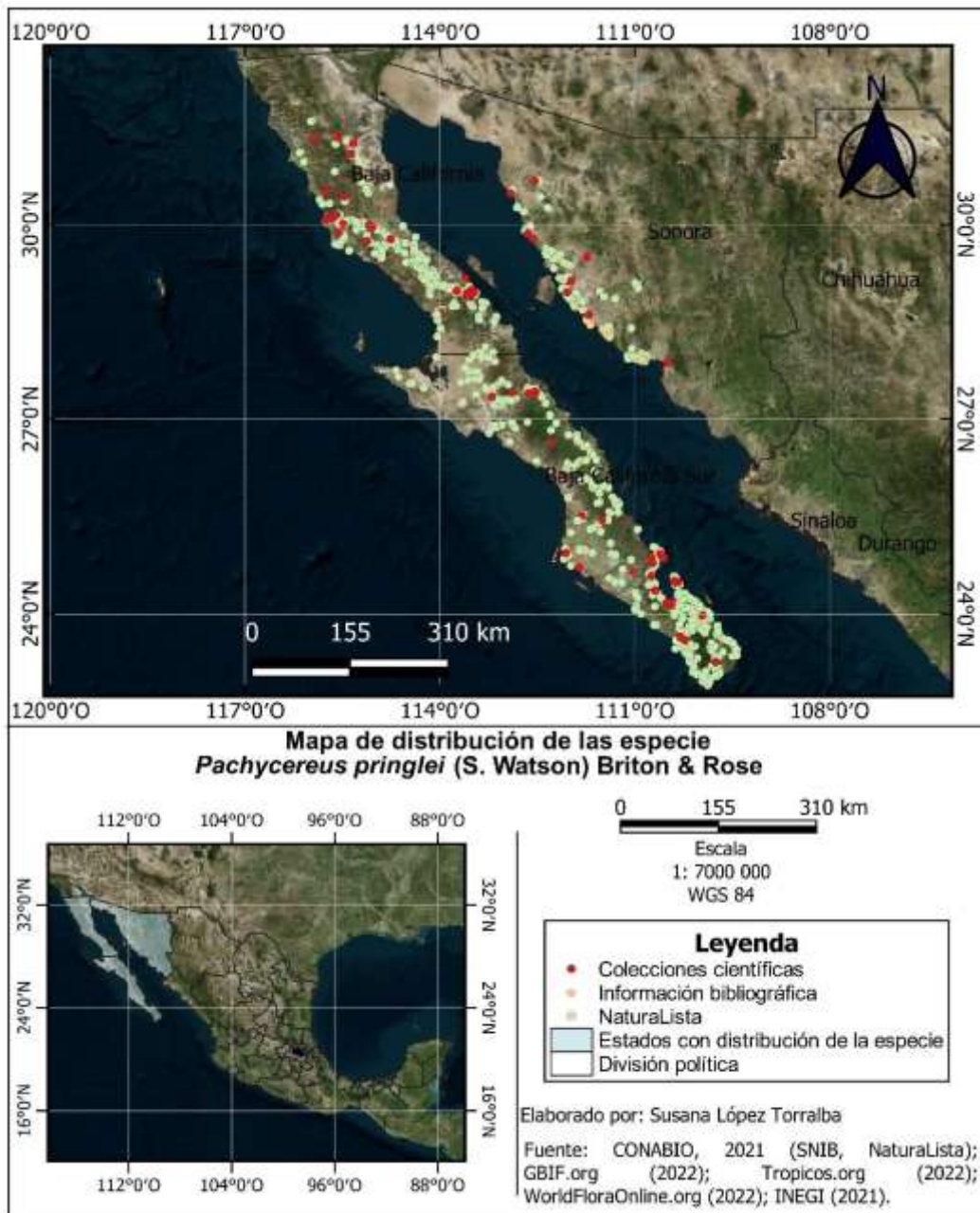
**Figura 27.** Distribución geográfica de *Myrtillocactus geometrizans*. Registros de la especie de 1891-2020. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (NaturaLista).

*Myrtillocactus geometrizans* es endémica de México. Sus poblaciones se encuentran distribuidas en los estados de Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas, (Bravo-Hollis, 1978; Guzmán et al., 2003; Arias et al., 2012).



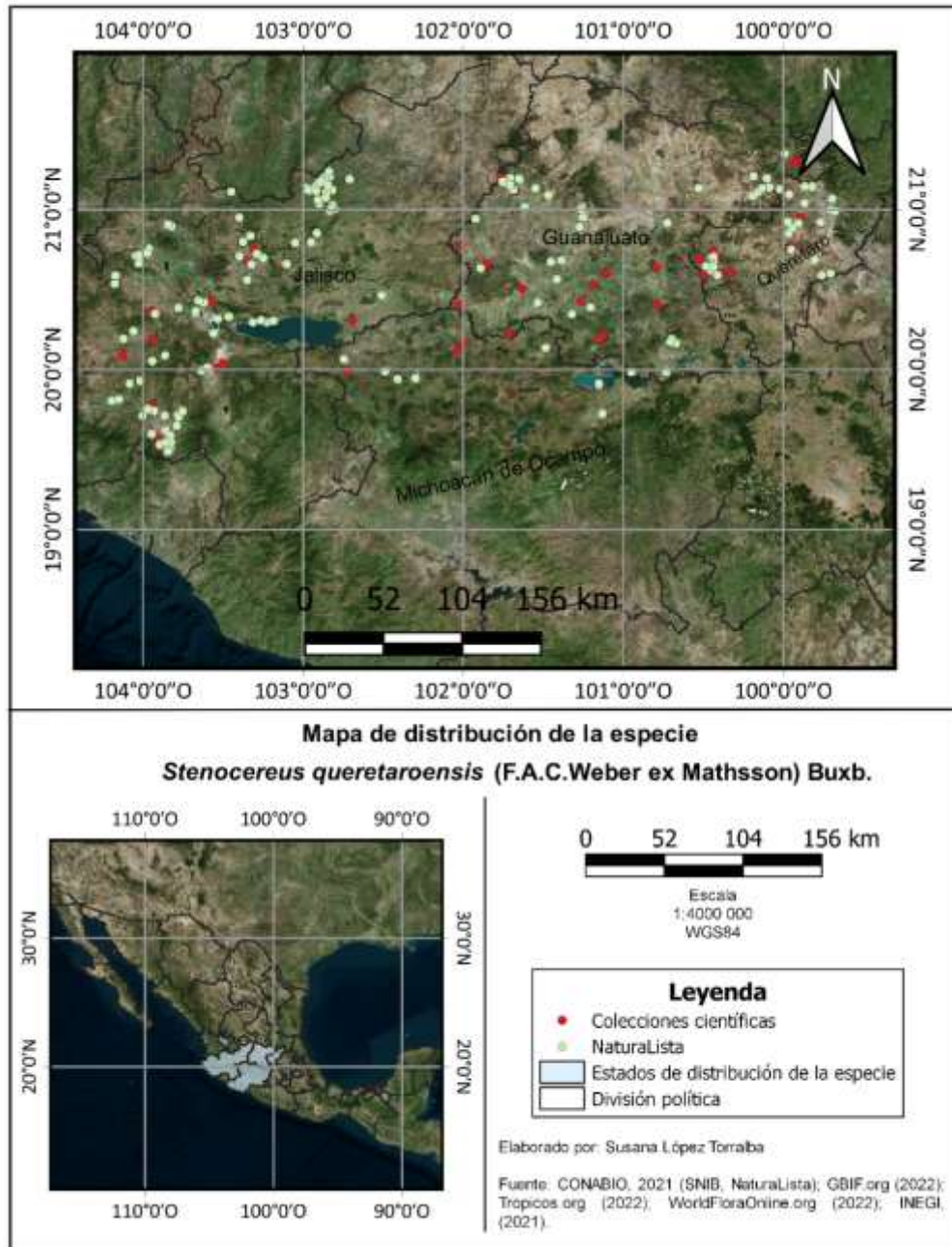
**Figura 28.** Distribución geográfica de *Pachycereus militaris*. Registros de la especie de 1934 a 2021 de la especie. Puntos rojos (colecciones científicas) y verde (NaturaLista).

*Pachycereus militaris* es una especie endémica de México. Sus poblaciones se encuentran distribuidas en los estados de Guerrero, Jalisco, Michoacán, (Bravo-Hollis, 1978; Guzmán et al., 2003).



**Figura 29.** Distribución geográfica de *Pachycereus pringlei*. Registros de la especie de 1884 a 2020. Puntos rojos (colecciones científicas), amarillo (información bibliográfica) y verde (NaturaLista).

*Pachycereus pringlei* es una especie endémica de México. Sus poblaciones se encuentran distribuidas en los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora (Bravo-Hollis, 1978; Guzmán et al., 2003).



**Figura 30.** Distribución geográfica de *Stenocereus queretaroensis*. Registros de la especie de 1899 a 2020. Puntos rojos (colecciones científicas) y verde (NaturaLista).

*Stenocereus queretaroensis* es una especie endémica de México. Sus poblaciones se encuentran distribuidas en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Querétaro y Zacatecas (Bravo-Hollis, 1978; Guzmán et al., 2003).

## Modelos de distribución de las especies de estudio

Las variables y los perfiles bioclimáticos obtenidos por especie de estudio se presentan en el **Anexo 2**.

En la **tabla 9**, se presentan las variables bioclimáticas consideradas, así como su porcentaje de contribución para explicar la distribución potencial para cada una de las siete especies de cactáceas arbóreas en estudio.

**Tabla 9.** Variables bioclimáticas y su contribución relativa para el modelo de distribución potencial por especie. En negritas se presentan las variables con mayor contribución en el modelo de distribución. (Los nombres de las variables se encuentran en la Tabla 1)

	<i>C. senilis</i> (%)	<i>C. tetetzo</i> (%)	<i>L. marginatus</i> (%)	<i>M. geometrizzans</i> (%)	<i>P. militaris</i> (%)	<i>P. pringlei</i> (%)	<i>S. queretaroensis</i> (%)
Bio1	*	*	*	*	*	*	*
Bio2	10.8	*	1.9	8.2	*	0.4	13.6
Bio3	*	*	*	*	*	*	1.5
Bio4	29.3	*	27.1	<b>34.7</b>	*	12.5	<b>41.5</b>
Bio5	*	*	*	*	*	*	*
Bio6	*	*	*	9.3	*	*	17.7
Bio7	*	17.6	*	*	6.5	*	*
Bio8	*	*	23.2	11.5	*	1.9	*
Bio9	*	*	*	*	*	4	*
Bio10	*	*	*	*	*	*	2.9
Bio11	*	*	*	*	<b>54.1</b>	1.9	*
Bio12	*	*	7.8	*	*	*	5.1
Bio13	8.8	*	*	*	*	*	*
Bio14	*	10.3	0.1	6.9	9.9	*	*
Bio15	<b>39.9</b>	16.6	0.8	*	0.2	2.1	*
Bio16	*	23	*	15.6	*	*	*
Bio17	*	*	5	0.3	24.3	<b>77.1</b>	9.9
Bio18	11.2	2.8	*	*	5.1	*	*
Bio19	*	<b>29.7</b>	<b>28.8</b>	13.4	*	*	8

Nota: (\*) variables no utilizadas en el modelado de distribución potencial por tener un coeficiente de correlación de Pearson > |0.80|. En negritas las variables con mayor valor para cada una de las especies.

La distribución potencial obtenida para cada una de las siete especies de estudio mostró valores de AUC > 0.9 (**Tabla 10**), por lo cual de acuerdo con Araújo et al. (2005), los modelos obtenidos son estadísticamente adecuados para predecir la distribución de estas especies. Los valores de AUC más altos, se obtuvieron para *C. senilis*, *C. tetetzo* y *P. militaris* las cuales son las especies que tienen una distribución más restringida (**Tabla 10**). El análisis de Jackknife obtenido con MaxEnt muestra que el peso de las variables presenta diferencias entre las especies. Por ejemplo, para *C. senilis* las variables que más influyeron en la modelación de la distribución potencial fueron la estacionalidad de la precipitación BIO 15 (39.9%) y la estacionalidad de la temperatura BIO4 (29.3%), mientras que para *P. militaris* fue la temperatura promedio del trimestre más frío BIO 11(54.1%) y la precipitación del cuatrimestre más seco BIO 17 (24.3%) (**Tabla 10**).

**Tabla 10.** Número de puntos de presencia, AUC (Área bajo la curva) del modelo y variables con mayor contribución al modelado por especies.

<b>Especies</b>	<b>Número de registros</b>	<b>Variables con mayor contribución al modelo</b>	<b>AUC</b>	<b>Valor de P</b>
<i>Cephalocereus senilis</i>	117	Bio 15 y Bio4	0,995	0.0001
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	206	Bio 19 y Bio 16	0,995	0.0001
<i>Lophocereus marginatus</i>	161	Bio 19 y Bio 4	0,972	0.0001
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	1,724	Bio 4 y Bio 16	0,933	0.0001
<i>Pachycereus militaris</i>	32	Bio 11 y Bio 17	0,995	0.0001
<i>Pachycereus pringlei</i>	1,417	Bio 17 y Bio 4	0,946	0.0001
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	278	Bio 4 y Bio 6	0,978	0.0001

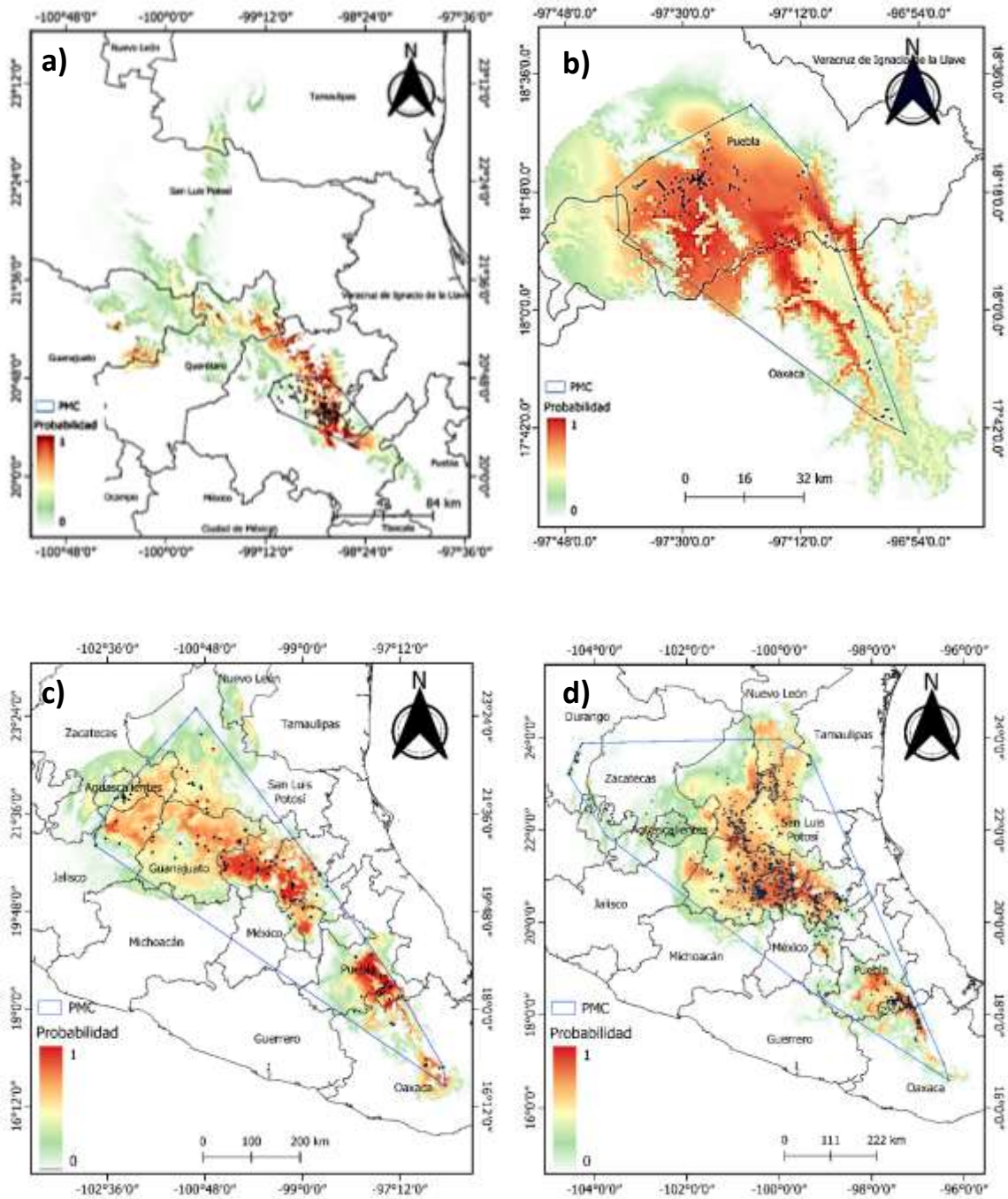
Para las especies en estudio las áreas de distribución obtenidas a través del modelo de polígono mínimo convexo (PMC) fueron como se esperaba menores que las áreas obtenidas a través de los modelos de distribución potencial para seis de las siete especies, ya

que los PMC evalúan el área de ocurrencia de las especies con base en los registros de presencia de estas (UICN, 2024). La excepción a esto ocurrió con *M. geometrizzans* donde el área de distribución potencial fue menor a la obtenida por PMC. Esto podría deberse a que la especie tiene una muy amplia distribución y entonces los registros más distantes hacen que el PMC cubra un área mayor que el área de distribución potencial como se ha observado en otros casos con especies de muy amplia distribución donde casos extremos (outliers) incrementan el área (Rangel-Sánchez, 2017) (**Tabla 11**).

**Tabla 11.** Estimación del área de distribución mediante el uso del polígono mínimo convexo (PMC) y el modelo de distribución potencial sin considerar el cambio de uso de suelo para las especies estudiadas.

Especie	Polígono Mínimo Convexo		Distribución potencial	X <sup>2</sup>
	Km <sup>2</sup>		Km <sup>2</sup>	Valor P
<i>Cephalocereus senilis</i>	3,029	<	9,147	<0.00001
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	3,063	<	6,677	<0.00001
<i>Pachycereus militaris</i>	9,590	<	34,408	<0.00001
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	73,568	<	132,667	<0.00001
<i>Lophocereus marginatus</i>	163,250	<	191,041	<0.00001
<i>Pachycereus pringlei</i>	145,705	<	174,984	<0.00001
<i>Myrtillocactus geometrizzans</i>	289,316	>	194,883	<0.00001

En la **Figura 31**, se presentan los mapas obtenidos de la distribución potencial (donde el rojo representa sitios de alta probabilidad de presencia de la especie), así como el área cubierta por el polígono mínimo convexo (polígono color azul) por especie.



**Figura 31.** Área de distribución potencial (valores cercanos a 1 indican alta probabilidad de presencia de la especie) y área de distribución mediante el polígono mínimo convexo (PMC) por especie **a)** *Cephalocereus senilis*, **b)** *Cephalocereus tetetzo*, **c)** *Lophocereus marginatus*, **d)** *Myrtillocactus geometrizans*, **e)** *Pachycereus militaris*, **f)** *Pachycereus pringlei* y **g)** *Stenocereus queretaroensis*. Los puntos negros indican los registros de presencia de la especie.



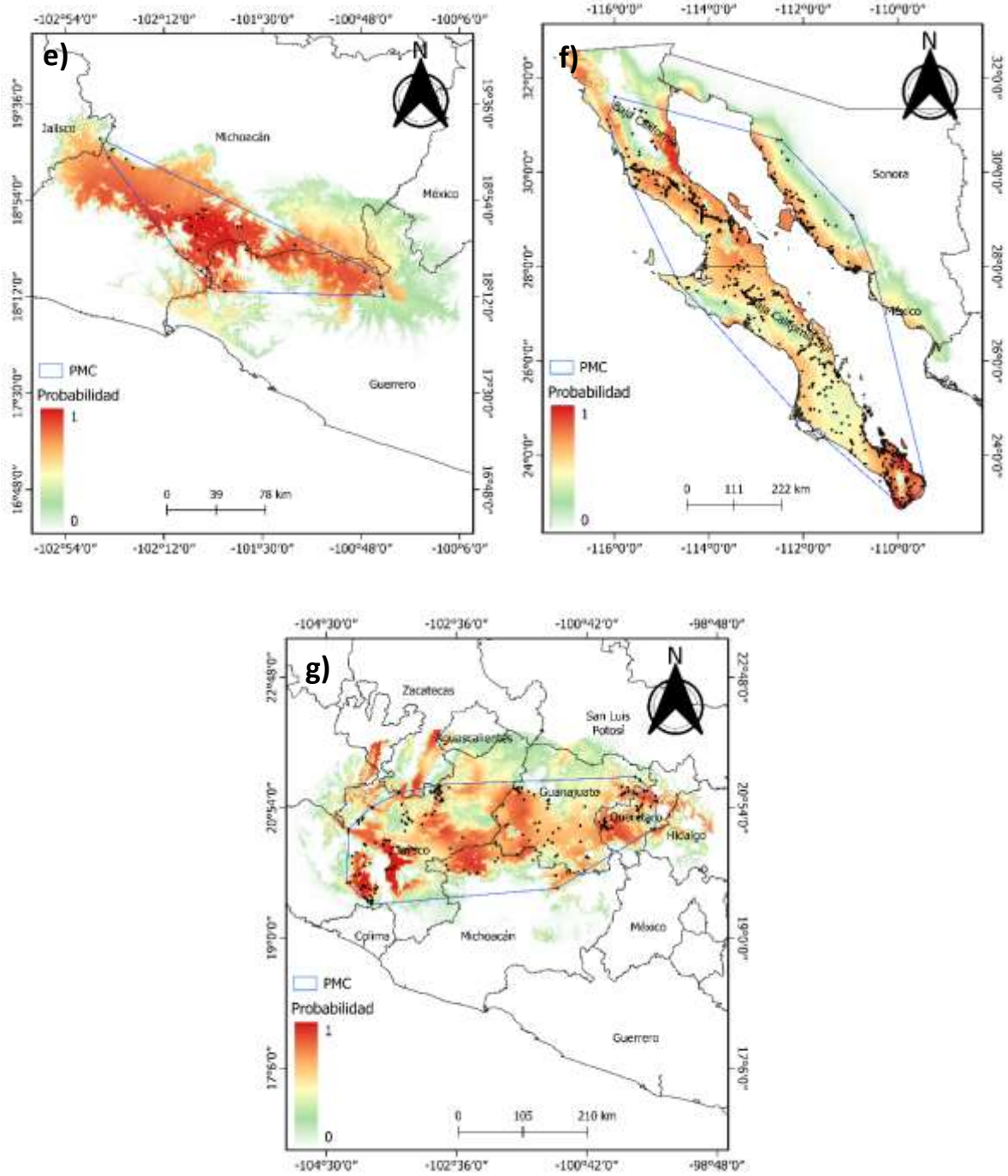


Figura 31. Continuación.

## 8.6. Cambio de uso del suelo a través del tiempo

La superposición de la distribución potencial y/o el PMC por especie con los mapas de uso de suelo y vegetación nos permite visualizar las áreas conservadas y recuperadas que conforman sitios idóneos para el establecimiento de una especie en particular y los sitios transformados.

Durante el periodo 2001 a 2021, en las áreas de distribución (potencial y PMC) de las siete especies de estudio, se observaron áreas conservadas y perturbadas que permanecieron sin cambio alguno y superficies con cambios, en donde hubo áreas recuperadas por algún tipo de vegetación y áreas perdidas por el cambio de uso de suelo. En la **figura 32**, se presenta esta valoración para el 2001-2021 (INEGI Serie II, 2001; Serie VII, 2021).

Considerando la distribución potencial, las áreas conservadas en el 2001 por especie eran: para *C. senilis*, 70%; para *C. tetetzo* 69.0%; para *L. marginatus*, 53.1%; para *M. geometrizzans*, 58.7%; para *P. militaris* 65.2%; para *P. pringlei*, 90.5% y para *S. queretaroensis*, 51.5% (**Tabla 12**).

**Tabla 12.** Área de distribución conservada y perdida para cada especie en la distribución potencial para el 2001.

Especies	Distribución potencial (km <sup>2</sup> )	2001			
		Área conservada (km <sup>2</sup> )	%	Área perdida (km <sup>2</sup> )	%
<i>Cephalocereus senilis</i>	9,147	6,404	70.0	2,743	30.0
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	6,677	4,608	69.0	2,069	31.0
<i>Lophocereus marginatus</i>	191,041	101,536	53.1	89,505	46.9
<i>Myrtillocactus geometrizzans</i>	194,883	114,336	58.7	80,547	41.3
<i>Pachycereus militaris</i>	34,408	22,442	65.2	11,966	34.8
<i>Pachycereus pringlei</i>	174,984	158,402	90.5	16,582	9.5
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	132,667	68,328	51.5	64,339	48.5

Durante el periodo 2001 a 2021, el área que permaneció sin cambios en la distribución potencial fue: para *C. senilis* 89.8%, *C. tetetzo* 91.3%, *P. militaris* 79.2%, *L. marginatus*, con 88.7%; *M. geometrizzans*, con 89.7%; *P. pringlei*, con 96.6% y *S. queretaroensis* 86.3% (**Tabla 13**). Mientras que las demás superficies presentaron cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo, siendo *C. senilis* con el 6.4%, *C. tetetzo* 5.6% y *P. militaris* 10.8% las especies que presentaron un mayor porcentaje de áreas recuperadas en comparación con las pérdidas (**Tabla 13**). Por lo cual, el área idónea para el 2021 se incrementó con respecto al área conservada que se tenía en el 2001 siendo: *C. senilis* con un incremento del 2.7%, *C. tetetzo*, 2.5% y para *P. militaris* con un incremento del 0.8% (**Tabla 14**).

Mientras que las cuatro especies restantes presentaron un mayor porcentaje de áreas perdidas durante este periodo de tiempo (**Tabla 13**); por lo cual, para el 2021 se observó una tendencia hacia la disminución del área idónea: *L. marginatus*, con una disminución del 1.3%; *M. geometrizzans*, 0.6%; *P. pringlei*, con 2.6% y *S. queretaroensis* con una disminución del 4.1% (**Tabla 14, Figura 32**).

**Tabla 13.** Áreas de permanencia y cambio en la distribución potencial de las especies de estudio durante el periodo 2001-2021.

Especie	Distribución potencial (Km <sup>2</sup> )	Permanencias 2001-2021				Cambios 2001-2021			
		Áreas conservadas km <sup>2</sup>	%	Áreas perturbadas km <sup>2</sup>	%	Áreas recuperadas km <sup>2</sup>	%	Áreas perdidas km <sup>2</sup>	%
<i>C. senilis</i>	9,147	6,061	66.3	2,154	23.6	588	6.4	343	3.8
<i>C. tetetzo</i>	6,677	4,399	65.9	1,696	25.4	373	5.6	209	3.1
<i>L. marginatus</i>	191,041	89,476	46.8	80,016	41.9	9,489	5.0	12,060	6.3
<i>M. geometrizzans</i>	194,883	103,716	53.2	71,135	36.5	9,412	4.8	10,620	5.4
<i>P. militaris</i>	34,408	18,995	55.2	8,253	24.0	3,713	10.8	3,447	10.0
<i>P. pringlei</i>	174,984	153,095	87.5	15,926	9.1	656	0.4	5,307	3.0
<i>S. queretaroensis</i>	132,667	56,477	42.6	57,965	43.7	6,374	4.8	11,851	8.9

**Tabla 14.** Área conservada e idónea de 2001 y 2021 en la distribución potencial por especie

Especie	2001		2021		Diferencia (%)
	Área conservada (km <sup>2</sup> )	%	Área idónea* (km <sup>2</sup> )	%	
<i>C. senilis</i>	6,404	70.0	6,649	72.7	2.7
<i>C. tetetzo</i>	4,608	69.0	4,772	71.5	2.5
<i>L. marginatus</i>	101,536	53.1	98,965	51.8	-1.3
<i>M. geometrizans</i>	114,336	58.7	113,128	58.0	-0.6
<i>P. militaris</i>	22,442	65.2	22,708	66.0	0.8
<i>P. pringlei</i>	158,402	90.5	153,751	87.9	-2.6
<i>S. queretaroensis</i>	68,328	51.5	62,851	47.4	-4.1

\* = (área conservada + área recuperada)

En cambio, considerando el área de distribución con el polígono mínimo convexo, se obtuvo que las áreas conservadas para el 2001 por especie eran: para *C. senilis*, 56.2%; para *C. tetetzo* 75.4%; para *L. marginatus*, 49%; para *M. geometrizans*, 56.6%; para *P. militaris* 62.6%; para *P. pringlei*, 94.7% y para *S. queretaroensis*, 43% (**Tabla 15**).

**Tabla 15.** Área de distribución conservada y perdida para cada especie dentro del polígono mínimo convexo para el 2001.

Especie	Distribución con polígono mínimo convexo (Km <sup>2</sup> )	2001			
		Área conservada		Área perdida	
		(Km <sup>2</sup> )	%	(Km <sup>2</sup> )	%
<i>Cephalocereus senilis</i>	3,029	1,701	56.2	1,328	43.8
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	3,063	2,308	75.4	754	24.6
<i>Lophocereus marginatus</i>	163,250	80,045	49.0	83,205	51.0
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	289,316	163,630	56.6	125,686	43.4
<i>Pachycereus militaris</i>	9,590	6,005	62.6	3,585	37.4
<i>Pachycereus pringlei</i>	145,705	138,055	94.7	7,650	5.3
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	73,568	31,621	43.0	41,946	57.0

Durante el periodo 2001 a 2021, en las áreas de distribución con el PMC, las especies que presentaron un mayor porcentaje de áreas recuperadas fueron: *C. senilis* con 8.3%, *C. tetetzo* 2.1% y *P. militaris* 12.4% (**Tabla 16**). Por lo cual, el área idónea para el 2021 se incrementó con respecto al área conservada que se tenía en el 2001 en 4.5%, 0.6% y 6.8% para *C. senilis*, *C. tetetzo* y *P. militaris*, respectivamente (**Tabla 17**).

Por otro lado, las especies que presentaron un mayor porcentaje de áreas perdidas fueron: *L. marginatus*, con 1.5%; *M. geometrizans*, con 5.7%; *P. pringlei*, con 2.4% y *S. queretaroensis* 9.6% (**Tabla 16, Figura 32**). Así, para el 2021 se observó una tendencia hacia la disminución del área idónea para *L. marginatus*, *M. geometrizans*, *P. pringlei* y *S. queretaroensis* de 0.1%, 0.7%, 2.1% y 5.3%, respectivamente (**Tabla 17**).

**Tabla 16.** Áreas de permanencia y cambio en las áreas de distribución con el polígono mínimo convexo por especie durante el periodo 2001-2021.

Especie	Distribución con polígono mínimo convexo (km <sup>2</sup> )	Permanencias 2001-2021				Cambios 2001-2021			
		Áreas conservadas (km <sup>2</sup> )	%	Áreas perturbadas (km <sup>2</sup> )	%	Áreas recuperadas (km <sup>2</sup> )	%	Áreas perdidas (km <sup>2</sup> )	%
<i>C. senilis</i>	3,029	1,586	52.4	1,075	35.5	253	8.3	115	3.8
<i>C. tetetzo</i>	3,063	2,263	73.9	691	22.6	63	2.1	45	1.5
<i>L. marginatus</i>	163,250	71,047	43.5	74,358	45.5	8,847	5.4	8,998	5.5
<i>M. geometrizans</i>	289,316	147,190.9	50.9	111,277	38.5	14,408	5.0	16,439	5.7
<i>P. militaris</i>	9,590	5,468	57.0	2,396	25.0	1,190	12.4	536	5.6
<i>P. pringlei</i>	145,705	134,596.5	92.4	7,224	5.0	426	0.3	3,459	2.4
<i>S. queretaroensis</i>	73,568	24,582	33.4	38,782	52.7	3,164	4.3	7,039	9.6

**Tabla 17.** Área conservada e idónea de 2001-2021 en el área de distribución por especie con el polígono mínimo convexo.

Especie	2001		2021		Diferencia (%)
	Área conservada (km <sup>2</sup> )	%	Área idónea* (km <sup>2</sup> )	%	
<i>C. senilis</i>	1,701	56.2	1,839	60.7	4.5
<i>C. tetetzo</i>	2,308	75.4	2,326	76.0	0.6
<i>L. marginatus</i>	80,045	49.0	79,894	48.9	-0.1
<i>M. geometrizzans</i>	163,630	56.6	161,599	55.9	-0.7
<i>P. militaris</i>	6,005	62.6	6,658	69.4	6.8
<i>P. pringlei</i>	138,055	94.7	135,023	92.7	-2.1
<i>S. queretaroensis</i>	31,621	43.0	27,746	37.7	-5.3

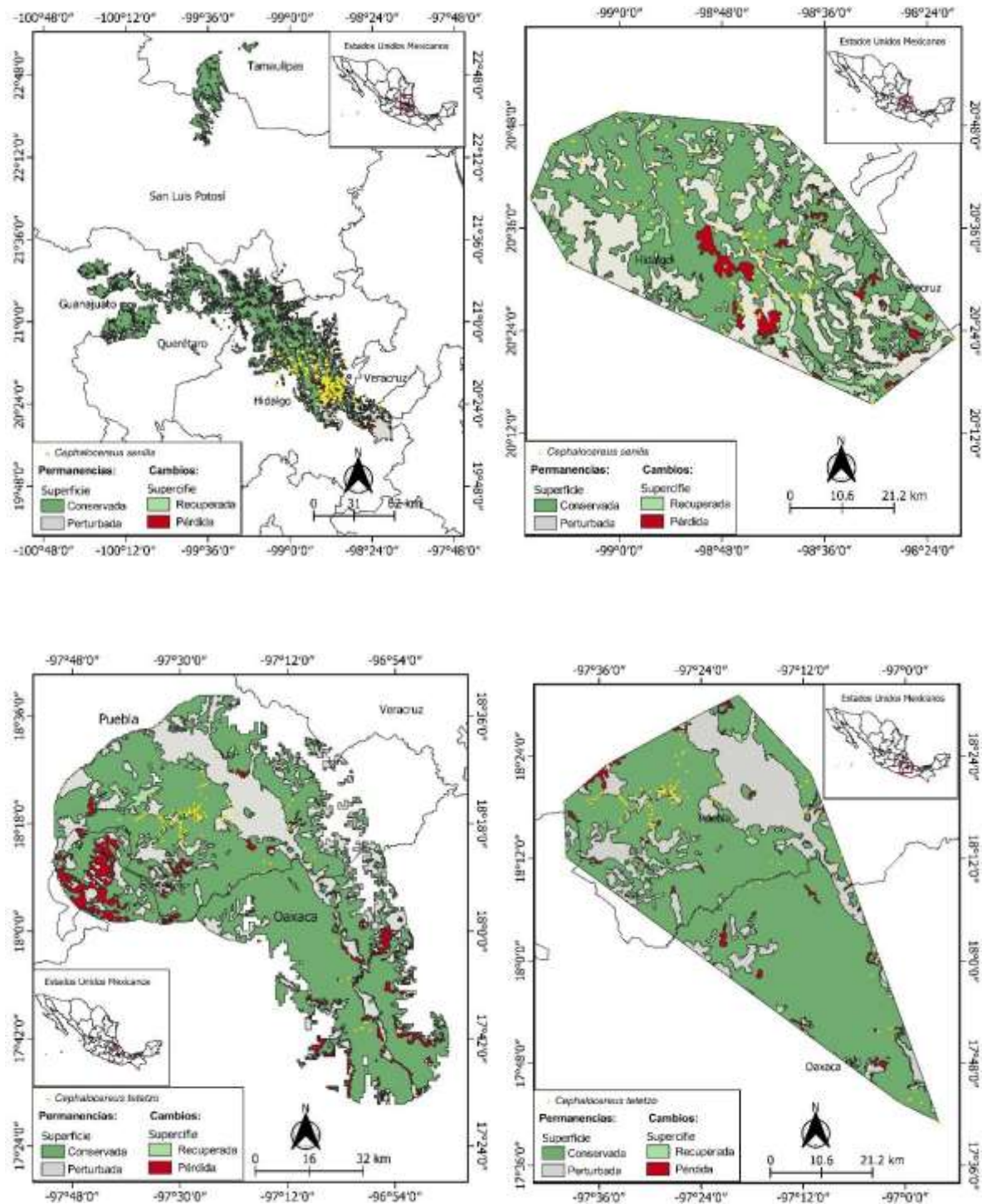
\*= (área conservada + área recuperada)

Los principales cambios de vegetación y uso de suelo en las áreas de distribución (potencial y PMC) de las especies de estudio se presentan en la **Tabla 18**. En donde se observó que algunas áreas de vegetación presentaron disminución e incrementos; por ejemplo, aunque la selva baja caducifolia donde habita la especie *P. militaris* se vio disminuida por cuerpos de agua, sin vegetación aparente y vegetación inducida, también presentó áreas de recuperación por la disminución de zonas agrícolas y vegetación inducida (**Tabla 18**). En el **anexo 3** se presenta, por especie, la matriz de transición con la superficie en km<sup>2</sup> para cada tipo de vegetación durante el periodo de tiempo analizado.

**Tabla 18.** Principales cambios de uso de suelo y vegetación en la distribución (potencial y PMC) por especies de estudio de 2001-2021.

Especies	Distribución potencial			Polígono mínimo convexo		
	2001	2021	Superficie (km <sup>2</sup> )	2001	2021	Superficie (km <sup>2</sup> )
<i>Cephalocereus senilis</i>	Matorral xerófilo	AGR, VI, AH	100.6	Matorral xerófilo	AGR, SVA	38.7
	Agricultura	MX, BP, BQ	276.5	Agricultura	BP, BQ, BMM, MX	105.0
	Vegetación inducida	MX, BP, BQ	182.9			
	Agricultura	VI, AH	73.1			
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	Matorral xerófilo	AGR, VI, AH	72.2	Matorral xerófilo	AGR	22.2
	Agricultura	BTC, MX, BQ	130.2	Agricultura	SBC, MX, BQ	30.0
	Agricultura	AH	38.1			
	Vegetación inducida	MX, BTC	173.4			
	Vegetación inducida	AGR, SVA	84.3			
<i>Pachycereus militaris</i>	Selva Baja Caducifolia	AGR, VI, SVA, CA, AH	2,940.5	Selva Baja Caducifolia	AGR, AH, VI, CA	497.9
	Vegetación inducida	SBC	2,190.1	Agricultura	BQ, SBC, BE	418.2
	Agricultura	SBC	1,049.6	Vegetación inducida	SBC, BE, BQ, BP	674.3
<i>Lophocereus marginatus</i>	Matorral xerófilo	AGR, PZ, VI, SVA, AH	3,367.1	Matorral xerófilo	AGR, VI, AH, SVA, CA	2,078.6
	Agricultura	MX	1,886.0	Selva Baja Caducifolia	AGR, VI, SVA, CA, AH	1,563.7
	Agricultura	AH, SVA	2,457.0	Pastizal	AGR	2,950.5
	Bosque de pino	AGR	275.5	Agricultura	MX, SBC, BQ	4,009.1
	Bosque de encino	AGR	866.3	Vegetación inducida	MX	418.9
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Matorral xerófilo	AGR, PZ, VI, SVA, AH	4,243.2	Matorral xerófilo	AGR	4,409.1
	Bosque de encino	AGR, VI, PZ	4,040.2	Agricultura	MX, PZ, BP, BQ, SBC, BE	9,018.8
	Pastizal	AGR	2,215.1			
	Pastizal	BQ	362.2			
<i>Pachycereus pringlei</i>	Matorral xerófilo	AGR, VI, SVA, CA, AH, ZA	4,263.5	Matorral xerófilo	VI, SVA, CA, AH, ZA, AGR	3,298.7
	Agricultura	MX	233.1	Selva Baja Caducifolia	VI, SVA, CA, AH	36.9
	Bosque tropical caducifolio	MX	475.1	Vegetación inducida	MX	115.8
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	Matorral xerófilo	AGR, VI, AH, SVA, CA	758.5	Matorral xerófilo	VI, SVA, CA, AH, AGR	451.0
	Bosque tropical caducifolio	AGR, VI, SVA, CA, AH	4,937.2	Selva Baja Caducifolia	AGR, VI, SVA, CA, AH	3,172.0

Nota: Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), mezquital xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuólicas (ZA).



**Figura 32.** Mapas de cambio de uso de suelo 2001-2021 en las áreas de distribución de las especies de estudio. A la izquierda, áreas de distribución potencial y, a la derecha, áreas de distribución con el polígono mínimo convexo.



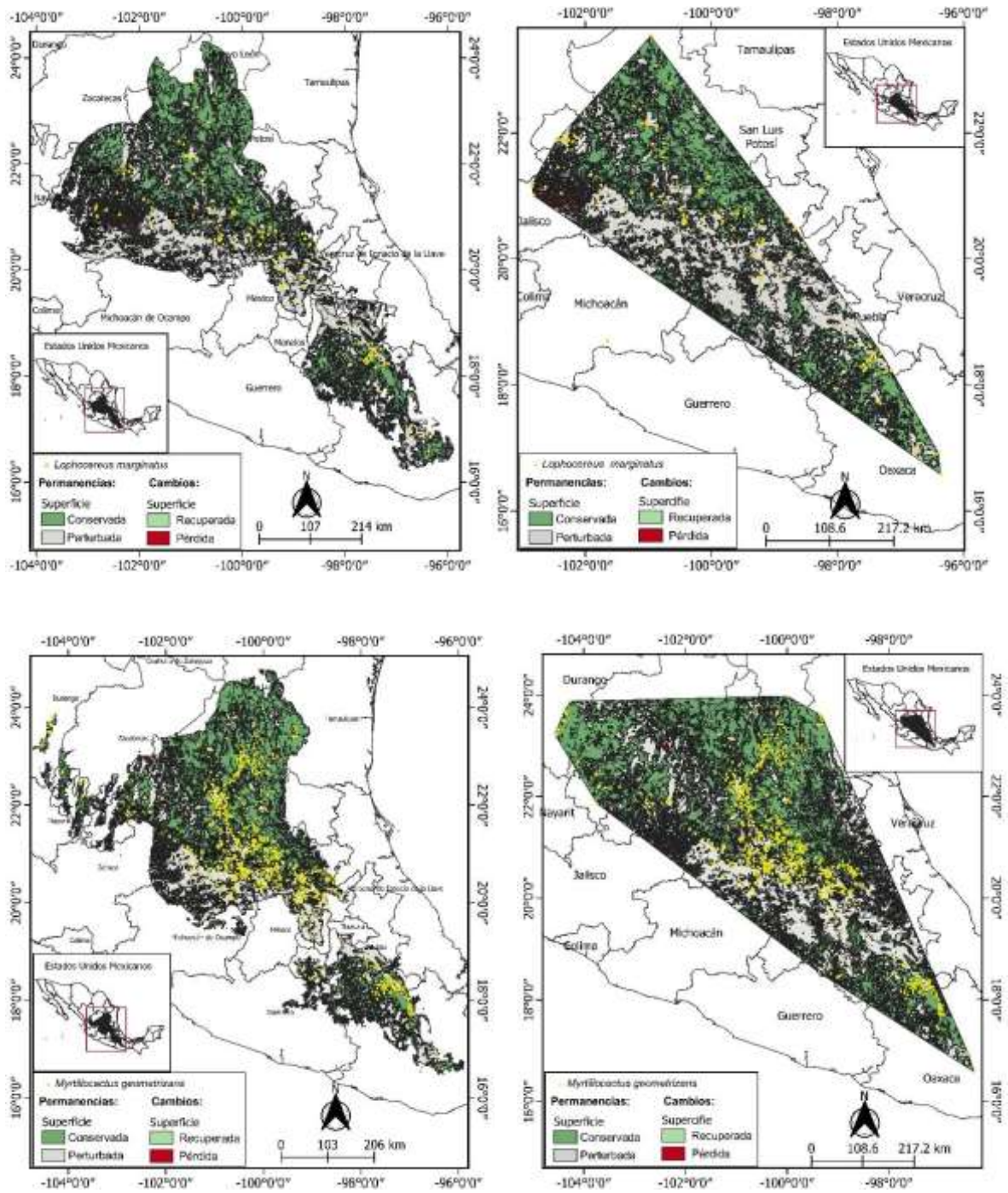


Figura 32. Continuación

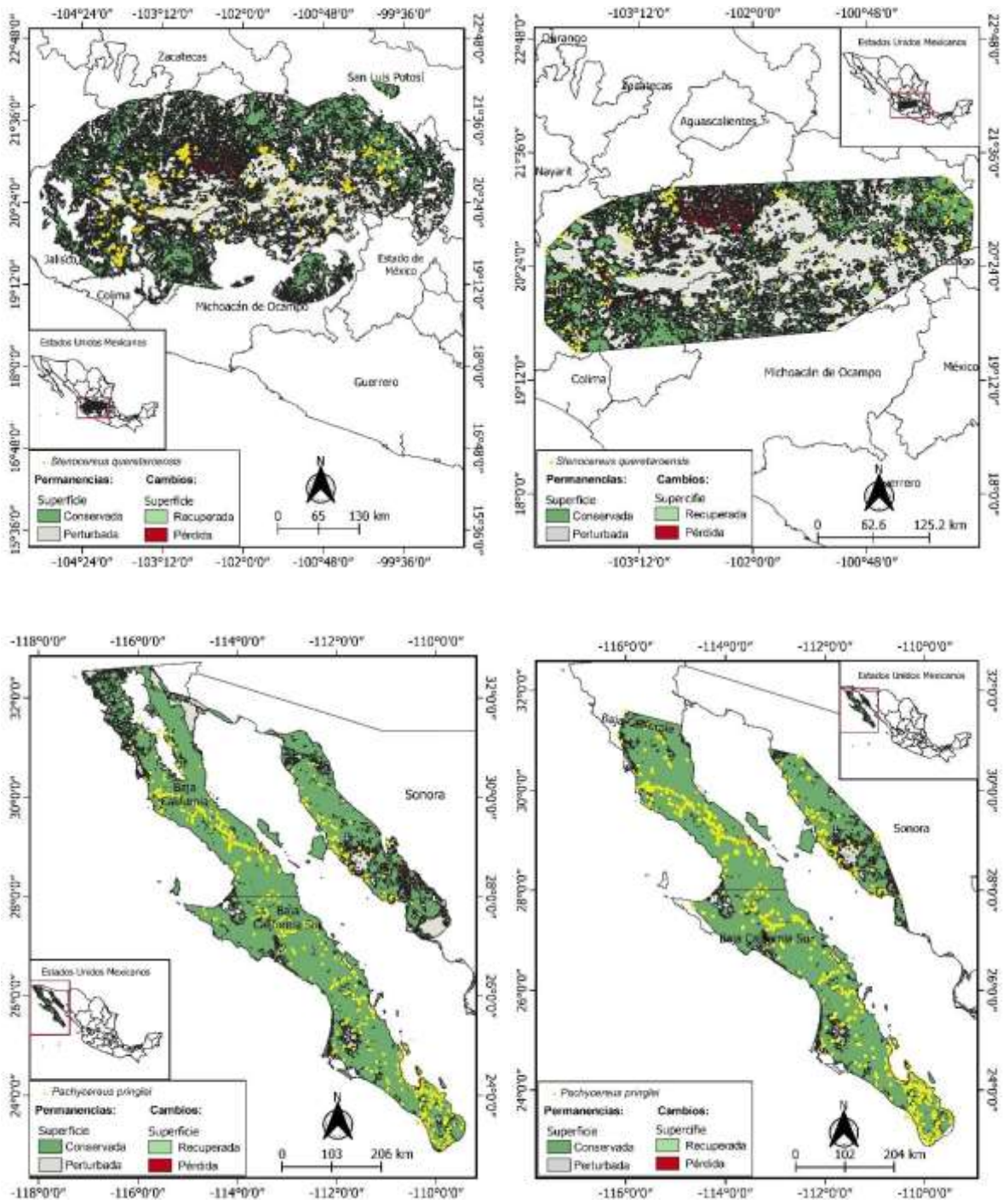
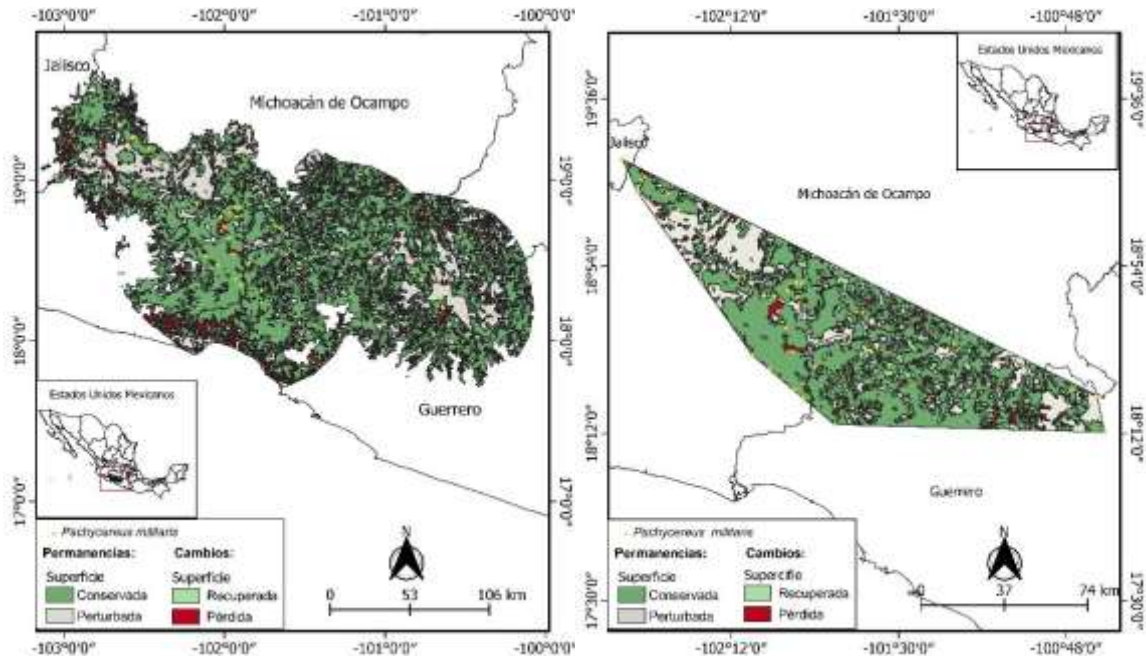


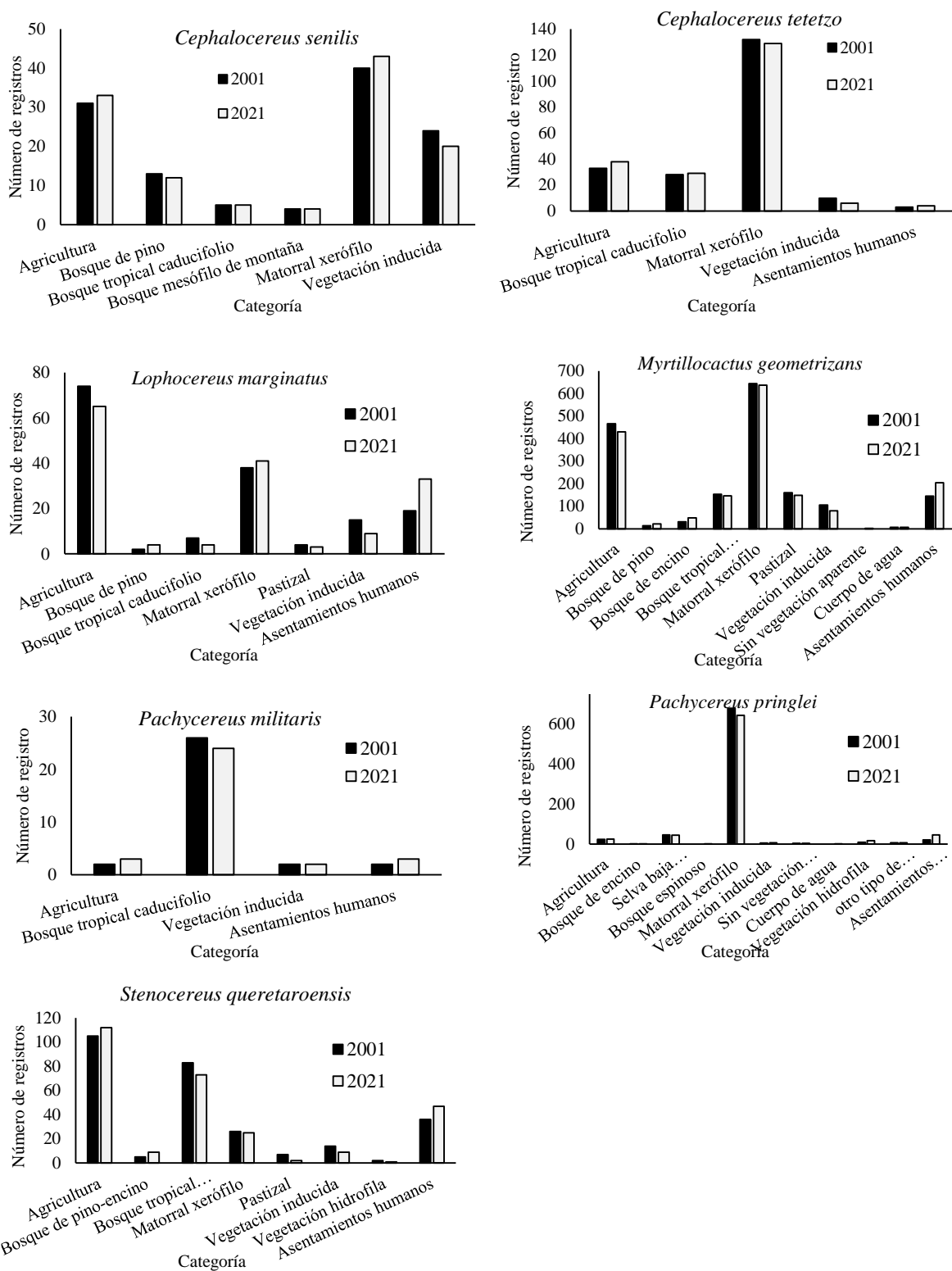
Figura 32. Continuación



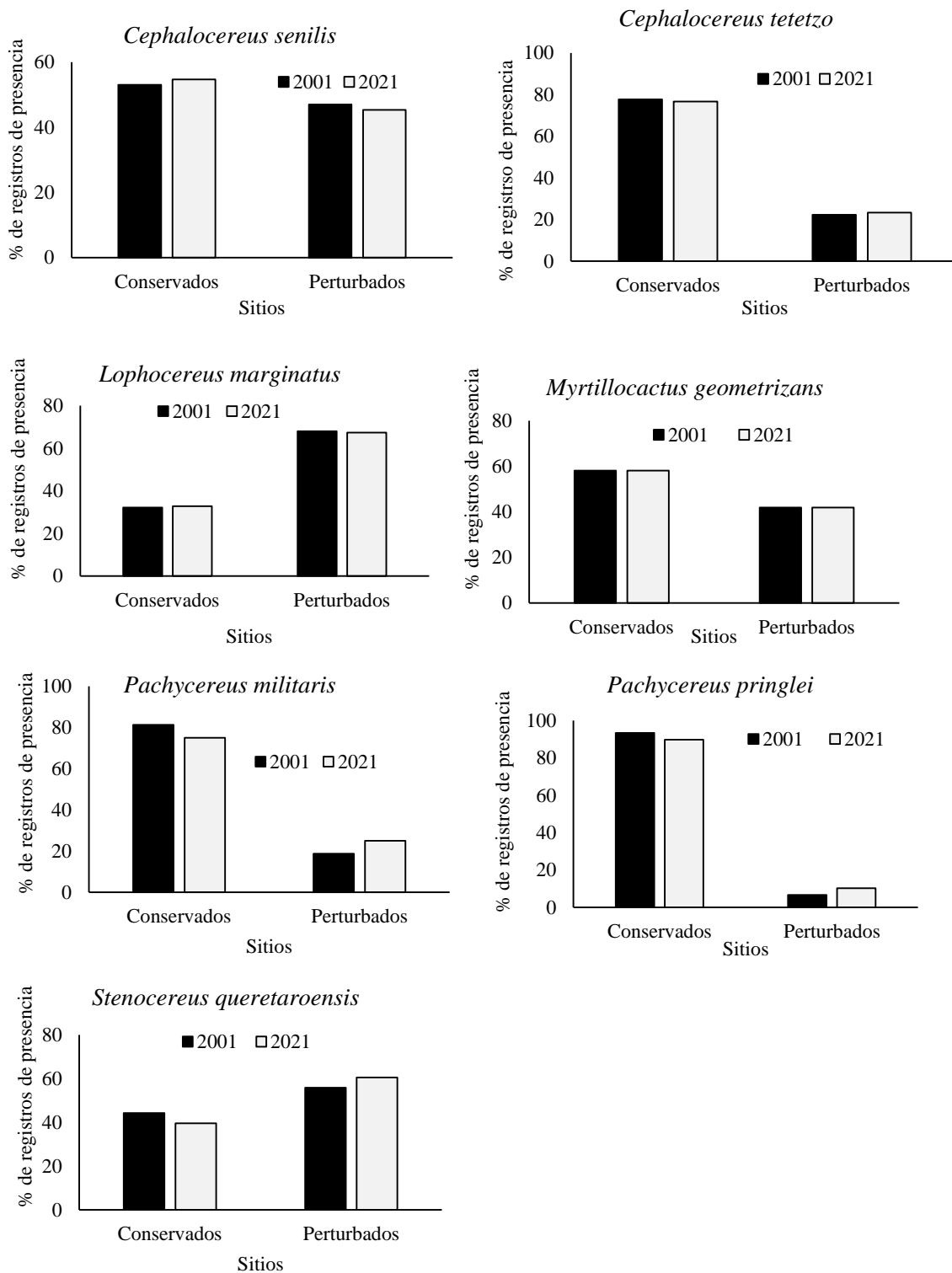
**Figura 32.** Continuación

Al revisar los tipos de vegetación y uso de suelo donde se ubicaban los registros de presencia de las especies de estudio, se encontró que algunos de estos registros que se encontraban en áreas conservadas en el 2001 cambiaron para el 2021 a zonas con algún tipo de uso antrópico. Un ejemplo de esto es lo que se observa para *P. militaris* en donde siete localidades que se encontraban en Selva Baja Caducifolia, actualmente se encuentran dentro de asentamientos humanos, zonas agrícolas y vegetación inducida (**Figura 32 y 33**).

Por otro lado, comparando el porcentaje de registros en las áreas de distribución conservada o perturbadas, se obtuvo que las especies que más registros de presencia tienen en áreas perdidas por el cambio de uso de suelo en el 2021 son: *L. marginatus* con el 67% de sus registros y *S. queretaroensis* con el 60% (**Figura 34**). Es importante mencionar que, aunque en el 2001 más del 78% de los registros de *C. tetetzo*, *P. pringlei* y *P. militaris* se encontraban en áreas conservadas, en el 2021 se detectó un ligero incremento de los registros que se encontraban en áreas perturbadas (**Figura 34**).



**Figura 33.** Número de registros de las especies de cactáceas arbóreas de estudio por categoría de uso de suelo y vegetación en 2001 y 2021.



**Figura 34.** Porcentaje de registros de las especies de cactáceas de estudio en sitios de distribución conservada o perturbada en 2001 y 2021.

## 9. DISCUSIÓN

En la revisión bibliográfica realizada se encontró que actualmente se reconocen para México 57 especies de cactáceas arbóreas (35 con forma de crecimiento columnar y 22 candelabriformes). Este número ha cambiado a través del tiempo debido a la presencia de sinonimias nomenclaturales y a cambios en la taxonomía del grupo basados en estudios morfológicos, filogenéticos y moleculares (rpl16, trnL-F y la región ITS del ADN ribosómico nuclear) (Trejo-Torres, 2012). Así, encontramos casos en los que las especies cambian incluso de género como ha ocurrido con las especies del género *Neobuxbaumia*, las cuales han sido transferidas al género *Cephalocereus* (sinonimia nomenclatural u homotípica).

La mayor parte de las especies de cactáceas arbóreas que se encuentran en México son nativas y endémicas de este país. Los estados con mayor diversidad de estas cactáceas son: Oaxaca con 31, Puebla con 20, Guerrero con 19, Michoacán con 16 y Jalisco con 10.

Ezcurra (1998), señala que la vertiente del Pacífico Sur que comprende el Valle de Tehuacán, extendiéndose hacia la Provincia Oaxaquense y la depresión del Balsas junto con la península de Baja California y una zona transicional (holártica-neotropical) sinaloense son los tres principales centros de diversidad de las cactáceas columnares. En este sentido es especialmente importante el triángulo Tehuacán-Balsas-Tehuantepec, donde se encuentran especies altamente endémicas y microareales, por lo que se propone que, si los esfuerzos de conservación se dirigen hacia la conservación de especies raras más que de riqueza de especies en sí misma, estas regiones del sur de México deberían considerarse como de máxima prioridad para la conservación de las cactáceas columnares.

En la actualidad las cactáceas mexicanas están experimentando disturbios debido a factores antropogénicos: cambios de uso de suelo por deforestación, agricultura, ganadería y

crecimiento urbano, por lo que constituyen un recurso natural altamente amenazado (Hernández y Godínez, 1994; Martorell y Peters, 2005). Esto se refleja en la cantidad de especies de cactáceas incluidas en los listados de especies amenazadas a nivel nacional e internacional. Para el caso de las cactáceas arbóreas de México, 10 especies (18% del total) se encuentran en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), 12 especies están en alguna categoría de riesgo de la Lista Roja de la UICN (21%), mientras que una se encuentra en el Apéndice I del CITES (*P. militaris*) y el resto en el Apéndice II.

Una de las amenazas que han puesto en riesgo a las poblaciones silvestres de cactáceas es la extracción y recolecta de especímenes vivos y semillas de los ambientes naturales (Mendoza-Ponce, 2012; Goettsch et al., 2015; Margulies et al., 2023). El uso del internet ha favorecido la comunicación entre productores, intermediarios y compradores, lo que ha llevado a la globalización del comercio que se realiza con estas plantas (Lavorgna, 2014; Yu y Jia, 2015).

La información encontrada en las plataformas de venta de las siete especies de cactáceas arbóreas seleccionadas, generalmente no señalan la procedencia de los ejemplares (silvestre o cultivado), ni el cumplimiento de la normatividad del comercio nacional e internacional. Esto concuerda con lo reportado por Olmos-Lau y Mandujano (2016), quienes mencionan que existe un comercio activo en línea de varias especies de cactáceas y otras especies incluidas en la CITES sin la documentación necesaria y con lo señalado por Sajeve et al. (2013) quienes señalan que solo el 10 % de las plantas de la familia Cactaceae comercializadas a través de internet ampararon su legal procedencia.

Si bien el comercio de algunas especies de vida silvestre es sostenible (Hughes, 2021), la recolección insostenible también es común y se ha relacionado con la disminución de la

densidad de individuos de diversas poblaciones (Cardoso et al., 2021; Wilcove et al., 2013; Wittemyer et al., 2014). Dentro de la familia de los cactus (Cactaceae), Goettsch et al. (2015) señalan que más del 31% de las especies de esta familia están amenazadas de extinción, y que el 47% de ellas se ven afectadas por la recolección ilegal para el comercio y uso ornamental.

Robbins (2003), menciona que, durante las últimas décadas, aproximadamente 60 especies de cactáceas mexicanas han sido colectadas ilegalmente, principalmente especies globosas de los géneros *Ariocarpus*, *Astrophytum* y *Turbincarpus*, lo cual ha provocado que las especies de estos géneros estén señaladas como amenazadas y han sido incluidas en el Apéndice I de la CITES.

Entre algunos casos sobresalientes relacionados con esta problemática se pueden mencionar a: a) *Astrophytum caput medusae*, cactácea descubierta en el 2002, en Nuevo León, México, la cual cuenta con una sola población, ya diezmada por colectas ilegales (Hernández-Alva et al., 2011); b) *Ariocarpus scaphirostris*, cactácea nativa de Nuevo León, México, la cual, durante las últimas dos décadas ha sido objeto de extracciones que han llevado a su población a una disminución de más del 80% de sus individuos (Anderson et al., 1994 y Mandujano et al., 2007) y c) *Echinocereus ferreirianus* subsp. *Lindsayi*, descubierta en 1975 en Baja California, la cual, tras ser publicada su ubicación, para 1990 se creía ya extinta debido a constantes recolectas, sin embargo, afortunadamente años más tarde, algunas poblaciones fueron encontradas y actualmente la especie se encuentra catalogada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría En Peligro de Extinción (P) (Sánchez y Cantú 1999).

Aunque en México, se han realizado esfuerzos por legislar y controlar el tráfico ilegal de flora y fauna silvestre a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Subprocuraduría de Recursos Naturales creada en 1994, así como por la



Fiscalía Especial de Delitos Ecológicos, el tráfico ilegal no ha cesado (Sánchez y Cantú, 1999). De acuerdo con la información proporcionada por la PROFEPA, durante el periodo de 1997 al 2022, se realizaron decomisos que contenían diversas especies de cactáceas, incluyendo ejemplares de al menos cinco de las especies estudiadas: *C. senilis*, *M. geometrizzans*, *L. marginatus*, *P. militaris* y *S. queretaroensis* (**Figura 22**). Mendoza-Ponce (2012), menciona que el material obtenido de extracciones ilegales es con frecuencia utilizado en el extranjero como material parental para la propagación de las especies, así como, para la creación de nuevas variedades. Se sabe en general que, cuando no se cumplen las disposiciones de CITES y tras el aseguramiento de ejemplares, estos pueden ser repatriados al país de origen, enviados a centros de recuperación de especies silvestres, donados a colecciones científicas, zoológicos o ser destruidos. Ya que normalmente los ejemplares vivos decomisados no pueden ser reintroducidos al medio silvestre por: 1) la dificultad para reconocer el origen preciso de los especímenes, 2) el riesgo de introducir enfermedades o genes exóticos a la población en la que serán introducidos y 3) su incapacidad para sobrevivir en el medio silvestre (Álvarez-Romero et al., 2003).

En México, los ejemplares decomisados, comúnmente, son depositados en una UMA con la finalidad de que sean cuidados y conservados. Cortés Pérez (2023), menciona que en la UMA Orquidario de la Universidad Veracruzana, las orquídeas recuperadas son usadas como plantas madre y utilizadas para reproducción in vitro a partir de frutos y las plántulas obtenidas son donadas a productores para su crecimiento y venta o pueden ser empleadas para ensayos de liberación en poblaciones donde se ha visto reducido su número por extracción directa de ejemplares y por otras actividades humanas.

Para el caso de *P. militaris*, especie incluida en el Apéndice I de la CITES, se encontró que se comercializan sus semillas en sobres de 10 unidades, a un costo entre 210 a 298 pesos en MN, en las plataformas digitales eBay y Mercadolibre (datos de marzo 2022 a febrero 2023). Mauseth et al. (2005) reportan que anteriormente el cefalio joven con la parte terminal del tallo de esta planta, se recolectaba para su comercio como planta de ornato, el cual se vendía a 5 dólares. Sin embargo, pocos de estos cefalios lograban sobrevivir y las plantas mutiladas quedaban severamente dañadas ya que los cefalios eran cortados con la ayuda de una motosierra. Martínez-Palacios (2007), reporta que a finales de los años 60's y principios de los 70's, el cefalio de esta especie era recolectado y transportado para el uso de la fibra utilizada en el acojinamiento de asientos y respaldos de autos de Volkswagen México (VW) así como de la Ford y de General Motors. En la actualidad las normas legislativas, junto con la dificultad de recolección, empaque y envío, así como la corta vida del cefalio aislado de la planta, ha desalentado a los recolectores ilegales de realizar tal actividad (Cattabriga, 2004; Martínez-Palacios, 2007).

Por otro lado, en la revisión de páginas de comercio en línea, se encontró que las siete especies de cactáceas arbóreas, se comercializan a través de una o varias plataformas digitales como Amazon, eBay, Etsy, Mercadolibre, Sodimac o Plantadecor. Olmos-Lau y Mandujano (2016), proponen que debiera existir una política por la cual estas tiendas proporcionarían información sobre las especies incluidas en la CITES; por ejemplo, a través de un formato descargable, firmado por el vendedor asumiendo la responsabilidad del origen legal del producto o una ventana emergente que permita al comprador entender qué el ejemplar es una especie incluida en los anexos de la CITES y las implicaciones que su adquisición conlleva. Ya que, por ejemplo, Humair et al. (2015), reportan que en la plataforma de eBay durante un

período de 50 días se pusieron a la venta 2,625 ejemplares de diversas especies de plantas, mientras que, Masters et al. (2022), mencionan que el comercio en línea de productos derivados de orquídeas probablemente dio como resultado la recolección destructiva de entre 90,000 y 180,000 orquídeas silvestres.

Es preocupante que, a través de las plataformas digitales, se logre anonimato de la venta de ejemplares, partes o derivados de las especies de cactáceas, ya que reduce la responsabilidad de quienes comercian ilegalmente con especies protegidas, como ocurre con el comercio de la mayoría de las especies incluidas en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (Xiao et al., 2017; Yu y Jia, 2015). Lo cual es relevante, ya que muchas especies propagadas artificialmente y disponibles en el mercado extranjero posiblemente provengan de semillas o plantas vivas que fueron exportadas ilegalmente de México por coleccionistas (Olmos-Lau y Mandujano 2016). Esto podría explicar el qué surtidores de cactáceas endémicas de México, se encuentren en el extranjero, en donde estas especies no viven de manera natural (**Figura 18**).

Por otro lado, en México, el cultivo y comercio de las cactáceas en riesgo, no se ha incrementado para surtir la demanda nacional e internacional, esto debido principalmente por las dificultades que encuentran los productores para cumplir con la normatividad impuesta por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Esto provoca que se continúe con extracciones ilegales en las poblaciones silvestres, las cuales cada vez se encuentran más diezmadas. Esta situación, además de dañar gravemente nuestros recursos naturales, evita que los pobladores de las zonas áridas puedan aprovechar los recursos que la naturaleza les ofrece y se tenga que recurrir a ejemplares cultivados en el extranjero. Por lo

cual es necesaria la revisión de los procedimientos legales para facilitar la instalación y funcionamiento de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) de plantas y específicamente de cactáceas. De esta manera se incrementaría el cultivo y producción de especies en riesgo, lo cual ayudaría a la reintroducción de ejemplares a su ambiente y permitiría un desarrollo socio económico de las poblaciones locales aprovechando los recursos propios de su ambiente. A su vez las UMA pueden cumplir con funciones educativas importantes en el tema del ambiente y la sustentabilidad a través de talleres o pláticas con personas que viven en zonas urbanas por lo que estarían cumpliendo diversas funciones.

### **Distribución de especies**

El estudio de la distribución geográfica de las especies ha sido un tema crucial en biología. Es claro que cada especie tiene un patrón de distribución definido por diferentes factores tanto bióticos, abióticos, geológicos y su capacidad evolutiva (Soberón y Peterson, 2005; Maciel-Mata et al., 2015) por lo cual, la extensión geográfica ocupada por una especie endémica es muy variable. Algunas especies endémicas de México tienen una amplia distribución como ocurre con: *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) que se localiza en 18 estados; *Lophocereus marginatus* en 15 y *Stenocereus queretaroensis* en 8. Otras especies tienen rangos más estrechos de distribución como *Pachycereus pringlei* y *Pachycereus militaris* que se encuentran en tres estados cada una o el caso de *Cephalocereus senilis* y *Cephalocereus tetetzo* que se encuentran en dos estados respectivamente.

Existen diversas maneras que nos permiten aproximarnos a la estimación de la distribución de una especie, entre ellos se encuentran los modelos de distribución potencial

y el método del polígono mínimo convexo. El primero nos permite llenar vacíos de información al permitir hacer inferencias sobre la distribución de especies y son de gran utilidad en estudios biogeográficos, ecológicos para identificar áreas prioritarias de conservación y además servir de guía para dirigir el trabajo de campo hacia sitios específicos para verificar si se encuentra una especie en particular (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004; Anderson et al., 2003; Flores-Tolentino et al., 2019; Ferrier y Guisan, 2006). Mientras que el segundo (PMC), señala el área de distribución de la especie, tomando solo en cuenta los registros de la distribución conocida. Debido a esto se esperaba que las áreas obtenidas mediante el uso de PMC, fueran menores a las obtenidas con el modelo de distribución potencial, como fue observado para *C. senilis*, *C. tetetzo*, *L. marginatus*, *P. Pringlei*, *P. militaris* y *S. queretaroensis*.

La excepción a esto ocurrió con *M. geometrizzans* donde el área de distribución potencial fue menor a la obtenida por el PMC. Esto podría deberse a que la especie presenta una distribución muy amplia y a que el PMC es sensible a datos extremos y no acepta la existencia de espacios vacíos, por lo que el rango de distribución de la especie se sobrestima (Mota-Vargas y Rojas-Soto, 2012; Rangel-Sánchez, 2017). A pesar de estas limitaciones el PMC ha sido ampliamente utilizado para delimitar el área de ocurrencia de las especies (Criterio B) y determinar su categoría de conservación (UICN, 2024).

En el caso de los modelos de distribución potencial, no es posible determinar cuánto se sobreestiman las áreas; solamente con trabajo de campo se podrá determinar qué tanto el algoritmo se extiende más allá de la distribución real de cada especie (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004). No obstante, los modelos de distribución potencial obtenidos para *C. tetetzo*, *L. marginatus*, *M. geometrizzans*, *P. Pringlei*, *P. militaris* y *S. queretaroensis*, mostraron una

predicción satisfactoria de acuerdo con el AUC y entre más cercana sea la probabilidad a 1, mayor será la posibilidad de encontrar a la especie en ese lugar (**Figura 31**), por lo que los mapas presentados y trabajo de campo en un futuro puede ayudar a registrar nuevos sitios de colecta de especies o reintroducción de las mismas con fines de conservación o manejo.

### **Perfiles bioclimáticos**

Los perfiles bioclimáticos de las especies son de gran importancia para conocer sus tolerancias climáticas (Beaumont et al., 2005), siendo pocos los estudios que los presentan (Mendoza et al., 2011). En el caso de las especies de estudio, se observaron variaciones en la importancia relativa de las variables bioclimáticas con relación a la distribución potencial de las diferentes especies. Para el caso de *P. militaris*, la temperatura media del trimestre más frío (BIO11) fue la variable con mayor contribución al modelo (54.1%). Lo que coincide con la observación de Mauseth (2006), quien menciona que esta especie no tolera las heladas, lo cual limita su distribución a las selvas secas y calientes, lo que en Michoacán y Guerrero se conoce como "tierra caliente". Aunque su distribución no es uniforme, sino que solo se presenta en una determinada franja del ambiente con estas características (Martínez-Cruz et al., 2013). Para *C. senilis*, la estacionalidad de la precipitación (BIO15; 39.9%) y la estacionalidad de la temperatura (BIO4; 29.3%), fueron las variables más importantes para modelar su distribución, lo que respalda la idea de que cactus de distribución restringida como esta especie están adaptados a las condiciones locales (Holmgren y Scheffer, 2010). Octavio-Aguilar et al. (2018), mencionan que *C. senilis* tiene una distribución agrupada debido a que requiere de condiciones microambientales estables para el establecimiento de plántulas debido a su sensibilidad ambiental. No obstante, Anadón et al. (2015), mencionan que

también puede deberse a factores históricos o ecológicos como sería una baja capacidad de dispersión. Actualmente esta especie crece sobre las laderas en la Barranca de Metztitlán, Hidalgo y dos localidades colindantes del estado de Veracruz. No obstante, el modelo indica pequeños sitios de alta idoneidad en Guanajuato por lo que sería recomendable en un futuro verificar la presencia o ausencia de la especie en estos sitios.

Dial y Grimer (1992), señalan que la distribución disyunta entre *C. senilis* (en la barranca de Metztitlán) y *C. tetetzo* (en el Valle de Tehuacán) obedece a razones históricas de la geología de México (Cevallos-Ferriz y González-Torres, 2006), ya que se ha postulado que el ancestro común de ambas especies tenía una distribución más amplia, habitando en condiciones climáticas similares a las que ahora se muestran en los sitios ocupados por dichas especies, las cuales quedarían aisladas por la aparición del Eje Neovolcánico Transversal, iniciado desde mediados del Mioceno, lo que llevó a la evolución independiente de estas especies (Bárcenas-Argüello, 2011; Park, 1988; Valiente-Banuet et al., 1995; Zavala-Hurtado et al., 2003).

Para la especie *P. pringlei* las variables más importantes fueron la precipitación del trimestre más seco (BIO17; 77.1%) y la estacionalidad de la temperatura (BIO4; 12.5%). Márquez-Márquez (2022), estimaron el rango de distribución de esta especie, encontrando de la misma manera que BIO17 era la variable con mayor contribución al modelo con un 73.6%, lo cual indica la gran importancia que tiene la precipitación en la distribución potencial de esta especie. Actualmente esta especie crece en gran parte de la península de Baja California y las costas de Sonora, siendo las zonas de mayor idoneidad de hábitat en el sur de la península, al norte de la península entre los paralelos 28-30 y en la costa de Sonora. Es importante mencionar que Gutiérrez-Flores (2015) y Gutiérrez-Flores et al. (2016),

mencionan que posiblemente la zona sur de la península actuó como refugio durante los cambios climáticos ocurridos en el pleistoceno y que posteriormente hubo una dispersión hacia el norte de la península y colonización a la costa de Sonora a través de la Isla San Esteban.

En cambio, la estacionalidad de la temperatura (BIO4), fue la variable con mayor contribución para la distribución predicha de: *M. geometrizzans* (34.7%) y *S. queretaroensis* (41.5%). Mientras que la precipitación del cuatrimestre más frío (BIO19), fue la variable más importante para *C. tetetzo* (29.7%) y *L. marginatus* (28.8%) (**Tabla 9**).

Las observaciones aquí mencionadas coinciden en general con lo reportado para las cactáceas, donde las variables de oscilación diurna y estacionalidad de la temperatura, así como las bajas temperaturas, son variables importantes para determinar el límite de su distribución (Hernández y Bárcenas 1995; Trejo, 2004; Rzedowski, 2006).

### **Cambio de uso de suelo**

Las modificaciones que sufren los ecosistemas por actividades antropogénicas inciden directamente en la sobrevivencia de los individuos y en la prevalencia de las poblaciones. A través de la metodología utilizada en este estudio encontramos cambios marginales en las áreas de distribución conservadas de las especies a través del tiempo (intervalo de 20 años: 2001 a 2021). Tanto en la distribución potencial como en el PMC, las especies: *C. senilis*; *C. tetetzo* y *P. militaris* presentaron un ligero incremento de las áreas idóneas para el establecimiento de poblaciones de estas especies debido a que las áreas recuperadas por la vegetación fueron mayores comparado con las áreas pérdidas. Por otra parte, las áreas de distribución de *L. marginatus*, *M. geometrizzans* y *S. queretaroensis* se vieron perturbadas



principalmente por la expansión de las zonas agrícolas y el crecimiento de los asentamientos humanos en la región centro del país, como se ha señalado para especies de cactáceas del género *Ferocactus* (Ballesteros-Barrera et al., 2017). Para *S. queretaroensis*, Solis-Márquez (2017) señala que a consecuencia de las actividades humanas y ganadería extensiva las poblaciones de esta especie en la comunidad de San José de Cosalima, Zacatecas, presentan problemas de densidad y baja repoblación principalmente cerca de la comunidad, ya que el pastoreo reduce la densidad de pitayos y las clases más afectadas suelen ser las plántulas y juveniles. Por eso, se ha sugerido el predominio de plantas adultas y recomiendan tener zonas de exclusión de pastoreo, esperando con eso mitigar la situación y dar lugar a la repoblación natural de la especie.

Para *P. pringlei*, las áreas de distribución disminuyeron de 2001 a 2021 debido a los asentamientos humanos y la expansión de las actividades agropecuarias que se han dado principalmente en los extremos norte y sur de la península de Baja California y oeste del estado de Sonora (**Figura 32**). Arriaga (2009), menciona que, en la región del Cabo, las actividades socioeconómicas, el establecimiento desordenado de asentamientos humanos, así como la conversión de parcelas con vegetación nativa a parcelas de uso agropecuario han dado lugar a un incremento en las áreas degradadas y han empobrecido el paisaje natural de la región. Así mismo, señala que la falta de conocimiento sobre la sucesión natural y los procesos de regeneración natural para iniciar la restauración ecológica de zonas degradadas o deforestadas es una limitante para la rehabilitación de grandes extensiones actualmente abandonadas por problemas de salinización o por sobrepastoreo.

Para algunas especies, las modificaciones antropogénicas pueden no ser tan graves debido a que los individuos no son removidos directamente, como por ejemplo en el caso de

*L. marginatus* y *M. geometrizzans*, cuya distribución puede ser incluso ampliada por el hombre, ya que sus frutos y su sombra son aprovechados y pueden adaptarse a hábitats alterados como los traspacios de las casas o ser propagadas vegetativamente y utilizadas como cercas vivas. Sin embargo, para la gran mayoría de cactáceas las alteraciones del hábitat pueden ser importantes para la sobrevivencia de las poblaciones (Galicia *et al.*, 2007; Jackson y Gastón, 2008; Yáñez-Arenas *et al.*, 2012), como es el caso de *C. senilis* cuya distribución es muy restringida (Barranca de Metztitlán) y sus poblaciones son abundantes pero limitadas a áreas pequeñas y bien conservadas. De Bello *et al.* (2012), mencionan que la reducción de la cobertura vegetal aumenta el estrés en las plántulas al aumentar la exposición al sol. Así, de acuerdo a Octavio-Aguilar *et al.* (2018), esta especie persiste en pendientes con orientaciones contrastantes con condiciones de microhábitat estables sin pérdida de cobertura vegetal, manteniendo así niveles moderados de luz solar, que protegen los individuos jóvenes de la sequía.

Lo anterior sugiere que la pérdida o transformación de estos ecosistemas para instalar cultivos o pastizales pueden tener graves consecuencias afectando el área de distribución de esta especie (Sowls, 1984; Mandujano *et al.*, 2004; Gallina *et al.*, 2009).

Para *C. tetetzo* el incremento de su área idónea para el 2021 con el modelo de distribución potencial (245 km<sup>2</sup>) y el PMC (138 km<sup>2</sup>), se debe a una disminución de las zonas agrícolas lo que concuerda con lo reportado por Arias *et al.* (2000), quienes mencionan que en la región de Zapotitlán Salinas donde vive la especie, el uso de la agricultura ha disminuido debido a la limitada vocación de la tierra para este uso, por lo cual las tierras anteriormente empleadas en la agricultura habrían dado paso a la reinstalación de la flora original.

Para el caso de *P. militaris*, aunque se registró un pequeño incremento (0.8%), se sabe que hay poblaciones que han desaparecido; por ejemplo, los habitantes de Apatzingán, Michoacán, mencionan que, lo que ahora son predios agrícolas o de pastoreo en el pasado (20 años atrás) presentaban abundantes individuos de esta especie (Martínez-Palacios, 2007). Además, Martínez-Cruz et al., (2013), mencionan que *P. militaris* era frecuente en la zona que quedó inundada por la construcción de la presa Gral. Francisco J. Múgica (2011), localizada en los alrededores de Nueva Italia, Michoacán. Esto podría explicar el incremento de 0.11% de la superficie cubierta por agua de 2001 a 2021. Esta especie habita en bosques tropicales caducifolios, los cuales se encuentran amenazados a nivel mundial por actividades humanas (Miles et al., 2006; Soto et al., 2010). La región de la Depresión del Balsas donde habita la especie no es la excepción, ya que la zona carece de un ordenamiento territorial, que permita asegurar la conservación de sus bosques tropicales, y hasta la fecha se ha priorizado, el desarrollo de actividades que generan directamente recursos económicos para el hombre, entre los que pueden citarse la crianza de ganado, el establecimiento de diversos cultivos o la construcción de presas. Por lo tanto, las amenazas constantes al hábitat de esta especie se han traducido en una disminución de las poblaciones (Terrazas et al., 2017). Aunado a esto, Núñez et al., (2001), mencionan que algunas poblaciones naturales podrían estar también declinando debido a problemas con diversas plagas.

En general, el cambio de uso del suelo produce un desequilibrio ecológico reflejado en cambios climáticos locales; afecta, por ejemplo, a cultivos de temporal, disminuyendo, retardando o anticipando periodos de lluvias; o, en ocasiones, presentándose fuertes chubascos aislados, en vez de una lluvia moderada y continua durante la época húmeda (Arias

et al., 2000). Esto afecta a las actividades humanas y a las diferentes poblaciones de animales y plantas silvestres en sus conductas y en su reproducción (Gorostiague, 2016).

Las cactáceas arbóreas al igual que el resto de las especies de la familia Cactaceae, han desarrollado numerosas interacciones mutualista con animales asociados a la polinización de sus flores, la dispersión de sus semillas y al establecimiento de nuevos individuos (Gibson y Nobel 1986; Pimienta-Barios y del Castillo, 2002). La polinización de las cactáceas arbóreas es un proceso fundamental en el ciclo de vida de estas plantas y muchas especies animales dependen de sus flores y sus frutos como recursos alimenticios (Schweiger et al., 2012; Rafferty et al., 2015). El mantenimiento de las poblaciones de las cactáceas arbóreas contribuye a mantener la diversidad de las zonas semiáridas donde habitan y a conservar la funcionalidad de los ecosistemas. Además, los recursos producidos por estas plantas son también aprovechados por las poblaciones humanas para su alimentación y para la obtención de beneficios económicos con la venta de las flores y sus frutos. Por ejemplo, en el caso de *S. queretaroensis* en algunas regiones, toda la fruta que se comercializa de esta especie proviene de poblaciones silvestres (Salcedo & Arreola-Nava, 1991; Pimienta, 1999).

## 10. CONCLUSIONES

El desarrollo de esta tesis nos permite visualizar los siguientes aspectos:

- México es el país con mayor diversidad de cactáceas arbóreas, contando con 57 especies de las cuales el 61.4% son columnares y 38.6% son candelabrifórmes. El 18% del total se encuentran en alguna categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010) y el 21% está dentro de alguna categoría de riesgo de la Lista Roja de la UICN.

- Las zonas prioritarias para la conservación de estas cactáceas deben incidir con las regiones de mayor diversidad de este grupo las cuales son: la vertiente del Pacífico Sur que comprende el Valle de Tehuacán, la Provincia de Oaxaca y la Depresión del Balsa, seguidas por la península de Baja California y una zona transicional (holártica-neotropical) sinaloense.

- Las cactáceas columnares son de especial importancia para los pobladores de las zonas semiáridas de México quienes han aprendido a utilizarlas de diversas formas, ya que al menos para el 91% de las especies de este grupo, se reporta algún uso y 39 de ellas tienen más de un uso como recursos alimenticios (flores, frutos, semillas y tallos), medicinales, forrajeros, material para construcción, para artesanías, leña, cercas vivas y ornamental.

- A través de la revisión bibliográfica realizada sobre las siete especies de estudio, encontramos que la cantidad de información existente sobre ellas es heterogénea, ya que existe mucha información sobre algunas especies (*M. geometrízans*, *P. pringlei*, *S. queretaroensis*, *C. tetetzo* y *L. marginatus*), mientras que, para otras, ésta es relativamente escasa (*C. senilis* y *P. militaris*).

- En la revisión del comercio en línea de las cactáceas columnares estudiadas, encontramos 652 promocionales. *M. geometrízans* es la especie más comercializada con 34.2% de los anuncios, seguida por *L. marginatus* (17.5%); *P. pringlei* (15.8%); *C. senilis* (14.6%) y *S. queretaroensis* (10.7%) y en menor cantidad *C. tetetzo* (6.7%) y *P. militaris* (0.5%). Las

estructuras más comercializadas son las semillas (32%), seguidas de esquejes (29%). De los 652 promocionales solamente 281 (43%) corresponden a sitios de México y el resto a sitios extranjeros: USA (18.9%), seguido de España (6.6%) y Australia (6.0%).

- Aunque México podría ser un productor comercial importante de cactáceas nativas del país, la mercadotecnia de estas especies resulta complicada, debido a las dificultades para obtener los permisos correspondientes, sobre todo en relación con las especies que se encuentran en riesgo. Esto ha favorecido la venta de cactáceas en el extranjero, así como la extracción ilegal de ejemplares y semillas de poblaciones naturales de México.

- El área de distribución de las especies de estudio varió en forma y tamaño. El modelo de distribución potencial estimó áreas de distribución más amplias que el PMC. Sin embargo, esto no ocurrió para *M. geometrizzans* ya que es una especie con una muy amplia distribución.

- Los modelos de distribución potencial obtenidos de las siete especies de estudio, nos muestran las áreas que tienen condiciones ambientales idóneas para el establecimiento de poblaciones de estas especies. Esto puede ayudar en un futuro a encontrar nuevas poblaciones, así como a determinar sitios adecuados para la reintroducción con fines de conservación o para el establecimiento de plantaciones comerciales.

- El método del PMC, puede ser utilizado para determinar las áreas de distribución de especies con distribución restringida o de poca dispersión, sin embargo, para especies de amplia distribución debe ser utilizado con precaución dado que no considera variables asociadas a los registros de las mismas por lo cual puede subestimar las áreas de distribución.

- Los cambios en el uso del suelo observados al comparar las áreas de cobertura de las distribuciones predichas y de los PMC para cada especie en un lapso de 20 años (2001 a 2021), mostraron diferencias marginales, encontrando una tendencia al incremento en *C. senilis*, *P. militaris* y *C. tetetzo* mientras que para *L. marginatus*, *M. geometrizzans*, *P. pringlei* y *S. queretaroensis*, se encontró una tendencia a la disminución debido a cambios de uso de suelo, principalmente debido al aumento de zonas agrícolas y de asentamientos humanos.

- Este trabajo, nos permite tener una idea de la importancia de las cactáceas arbóreas nativas de México, no sólo como recursos para el ser humano, sino también por los servicios ecosistémicos e interacciones mutualistas que establecen con otros organismos. Contribuye a la actualización del conocimiento de la riqueza de este grupo de plantas. Proporciona elementos que nos permiten valorar el comercio mundial que se realiza con ellas y también nos muestra las proporciones de áreas conservadas en la distribución de las especies estudiadas. Todo esto contribuye a proporcionar una base para realizar planes que lleven a la conservación o reintroducción de estas especies.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Prieto Anabel. (2016). Distribución Espacial de Especies de Cactáceas en la Región del Desierto Chihuahuense. Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA.
- Alcorn, S.M., Mcgregor, S.E. & Olin, G. (1962) Pollination requirements of the Organ Pipe cactus. *Cactus and Succulent Journal* 34: 134-138.
- Alcorn, S.M., Mcgregor, S.E., & Olin, G. (1961) Pollination of Saguaro cactus by doves, nectar-feeding bats and honey bees. *Science* 132: 1594-1595.
- Alcorn, S.M., Mcgregor, S.E., Butler, G.D. & Kurtz, E.B. (1959) Pollination requirements of the saguaro (*Carnegiea gigantea*). *Cactus and Succulent Journal* 31: 39-41.
- Alvarado-Sizzo, H., Casas, A., Parra, F., Arreola-Nava, H. J., Terrazas, T. y Sánchez, C. (2018). Species delimitation in the *Stenocereus griseus* (Cactaceae) species complex reveals a new species, *S. huastecorum*. *Plos One*, 13, 1-25.
- Álvarez-Romero, J., M. Bellot y H. Benítez. (2003). La ciencia en el combate al comercio ilegal de especies. CONABIO. *Biodiversitas* 49:7-11  
<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/2003Alvarez-Romeroetal-CITESunconvenioparaprotegerespeciesamenazadasporelcomercio.pdf>
- Anadón, J. D.; Graciá, E.; Botella, F.; Giménez, A.; Fahd, S.; Fritz, U. (2015). Individualistic response to past climate changes: niche differentiation promotes diverging Quaternary range dynamics in the subspecies of *Testudo graeca*. *Ecography*, (38), 695-966.  
<https://doi.org/10.1111/ecog.01163>
- Anderson EF, S Arias-Montes, NP Taylor (1994). Threatened cacti of México. *Royal Botanic Gardens, Kew*.
- Anderson, E. F. (2001). The cactus family. Timber Press, Inc. The Haseltine Building. *Oregón*. 776 p.



- Anderson, R. P., D. Lew, y A. T. Peterson. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecological Modeling* 162:211-232.
- Araujo M., B., R. Pearson, W. Thuiller and M. Erhard. (2005). Validation of species– climate impact models under climate change. *Global Change Biology*. 11: 1504-1513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x>
- Arellano-Rodríguez J.A., Flores-Guido J.S., Tun-Garrido J., Cruz-Bojórquez M. M. (2003). Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. *Etnoflora Yucatanense*. 20: 93-98.
- Arias S, Gamma-López S, Guzmán LU. 1997. Cactaceae L Juss En: Dávila P, Villaseñor JL, Medina R, Téllez O, eds. Flora del Valle de Tehuacán. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México México, DF, pp 146.
- Arias S, Guzmán U, Mandujano MC, Soto M, Golubov J. (2005). Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción. *Cact. Suc. Mex.* Vol. 50 No. 4. P. 100-125.
- Arias, Salvador, y Terrazas, Teresa. (2008). X *Pachebergia* (Cactaceae), a nothogenus from western Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79(1), 23-28.
- Arias, T., A.A. Valverde V., M.T. y Reyes S. J., (2000). Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla. D.R. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Instituto Nacional de Ecología. 1a edición, México. P. 33. [http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/plantas\\_zapo.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/plantas_zapo.pdf)
- Arias-Montes, S, Susana Gama-López, L. Ulises Guzmán, Balbina Vázquez-Benítez (eds.). (2012). Cactaceae, Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, UNAM. México, D. F, México. 95: 223 pp.
- Arizmendi M.C. y Espinosa de los Monteros A. (1996). Avifauna de los bosques de cactáceas columnares del Valle de Tehuacán, Puebla. *Acta Zoológica Mexicana* 67: 25–46.
- Arizmendi, C., A. Valiente-Banuet, y A. Rojas-Martínez. (2002). Columnar cacti and the diets of nectar feeding bats. Pp. 264-282 in *Columnar cacti and their mutualists: evolution, ecology,*

and conservation (Fleming, H., y A. Valiente-Banuet, eds.). The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.

Arnaud, G., Carbajal-Márquez, R. A., Rodríguez-Canseco, J., y Ferreyra, E. (2014). Primeros registros de la Cascabel roja (*Crotalus ruber*) en la isla Coronados, Golfo de California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 322-324.

Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación ambiental*. 1(1): 6-16. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/INVE%20AMB%20A77%202009.pdf>

Bacab-Figueroa I., A. (2019). Las cactáceas de la Península de Yucatán: descripción y usos. UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO. 56p. <http://hdl.handle.net/20.500.12249/2239>

Baker HG y Baker I. (1975). Studies in nectar-constitution and pollinator-plant coevolution. In: Gilbert LE, Raven HM, eds. Animal plant coevolution. Austin: *University of Texas Press*, 101–138.

Ballesteros-Barrera C., Aguilar-Romero O., Zarate-Hernández R. y Ballesteros-Tapia L. (2017). Distribución geográfica y conservación de nueve especies del género *Ferocactus* (Cactaceae) en México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 40 (2): 131 – 140

Bárcenas, R.T. (2006). Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. CONABIO. P. 11-15.

Bárcenas-Argüello, M.L. (2011). Distribución Ecológica del subgénero *Neodawsonia Backeb.* Del género *Cephalocereus* Pfeiff. (Cactaceae), en el istmo de Tehuantepec, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados. INSTITUTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS. Pp. 103.

Barnea, A., Y. Tom-Tov y J. Friedman. (1992). Effect of frugivorous birds on seed dispersal and germination of multi-seeded fruits. *Acta Ecológica* 12(2): 209-219.

Beaumont, L. J., Hughes, L., & Poulsen, M. (2005). Predicting species distributions: Use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future

distributions. *Ecological Modelling*, 186(2), 251-270.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.030>

Beck, J., Boller, M., Erhardt, A., & Schwanghart, W. (2014). Spatial bias in the GBIF database and its effect on modeling species' geographic distribution. *Ecological informatic*, 19, 10-15.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.11.002>

Blázquez, M., & Rodríguez-Estrella, R. (2001). Winter refuge characteristics of spiny-tailed iguanas, *Ctenosaura hemilopha*, in Baja California Sur, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 49(3), 593-599. [doi:10.1006/jare.2001.0795](https://doi.org/10.1006/jare.2001.0795)

Blázquez, M., & Rodríguez-Estrella, R. (2007). Microhabitat selection in diet and trophic ecology of a spiny-tailed iguana *Ctenosaura hemilopha*. *Biotropica*, 39(4), 496-501. [doi:10.1111/j.1744-7429.2007.00294.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00294.x)

Blázquez, M., y Rodríguez-Estrella, R. (1997). Factors influencing the selection of basking perches on cardon cacti by spiny-tailed iguanas (*Ctenosaura hemilopha*). *Biotropica*, 29(3), 344-348

Bravo-Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. (1991a). Las cactáceas de México. Vol. 2. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 571 pp.

Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. (1991b). Las cactáceas de México. Vol. 3. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 644 pp.

Buckland, C. E., Thomas, D. S. G., Jägermeyr, J., Müller, C., & Smith, J. A. C. (2023). Drought-tolerant succulent plants as an alternative crop under future global warming scenarios in sub-Saharan Africa. *GCB Bioenergy*, 15, 1287–1308. <https://doi.org/10.1111/gcbb.13095>

Bueno V, y Plumed, J. (2017). Monografías botánicas. Jardín Botánico de la Universitat de València. Volumen 4: *Los Cactus*. Universidad de Valencia E.G. p. 103. ISBN 978-84-9133-080-6.  
[https://jardibotanic.org/fotos/pdf/publicacion\\_2\\_111\\_CACTUS-ESP-BAJAaaa.pdf](https://jardibotanic.org/fotos/pdf/publicacion_2_111_CACTUS-ESP-BAJAaaa.pdf)

- Burt, W.H. (1993). Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *J. Mammal.* 36: 304-305.
- Byun, D.W., Kim, S., Czader, B., Nowak, D., Stetson, S. y Estes, M., (2005). Estimation of biogenic emissions with satellite-derived land use and land cover data for air quality modeling of Houston-Galveston ozone nonattainment area. *Journal of Environmental Management*, 75: 285–301.
- Cardoso, P., Amponsah-Mensah, K., Barreiros, JP, Bouhuys, J., Cheung, H., Davies, A., Kumschick, S., Longhorn, SJ, Martínez-Muñoz, CA, Morcatty, TQ, Peters, G., Ripple, WJ, Rivera-Téllez, E., Stringham, OC, Toomes, A., Tricorache, P. y Fukushima, CS (2021). " Scientists' warning to humanity on illegal or unsustainable wildlife trade". *Biological Conservation*, 263, 109341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109341>
- Casas, A. (2002). Uso y manejo de cactáceas columnares mesoamericanas. CONABIO. *Biodiversitas* 40:18-23.
- Casas, A., and G. Barbera. (2002). Mesoamerican domestication and diffusion. In: Nobel, P. S. (ed.) *Cacti Biology and Uses*. *University of California, Berkeley*. pp: 143-162. DOI:[10.1525/california/9780520231573.003.0009](https://doi.org/10.1525/california/9780520231573.003.0009)
- Casas, A., J. Caballero y A. Valiente-Banuet. (1999). Use, management and domestication of columnar cacti in south-central México: A historical perspective. *Journal of Ethnobiology* 19: 71-95.
- Casas, A., Otero-Arnaiz, Pérez-Negrón y Valiente-Banuet. (2003). Manejo y domesticación de cactáceas en Mesoamérica. Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, A. P. 3-27.
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Rojas-Martínez, A. & Dávila, P. (1999) Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in central Mexico. *American Journal of Botany* 86: 534-542.

- Castillo, J. P. L. (2003). Biología de la polinización de *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum, una cactácea con floración biestacional. Undergraduate thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico.
- Castillo-Picazo G.E. y García-Collazo R. (2018). Comparación de la dieta del Cacomixtle norteño, *Bassariscus astutus* de un bosque templado y un matorral xerófilo, del centro de México. *BIOCYT*, 12(45): 834-845.
- Castrezana, S., & Markow, T. A. (2001). Arthropod diversity in necrotic tissue of three species of columnar cacti (Cactaceae). *The Canadian Entomologist*, 133(3), 301-309.
- Castro- Bastidas, H. A., & Serrano, J. M. (2022). La plataforma naturalista como herramienta de ciencia ciudadana para documentar la diversidad de anfibios en el estado de Sinaloa, México. *Revista Latinoamericana De Herpetología*, 5(1), 156–178. <https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.1.372>
- Cattabriga, A. (2004). *Backebergia militaris* (Audot) H. Bravo Hollis. *Cactus & Company* 8(2): 131-162.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S. y E.A. González-Torres (2006). Geological setting and phytodiversity in Mexico. In F.J. Vega, T.G Nyborg, M.d.C. Perrilliat, M. Montellano-Ballesteros, S.R.S. Cevallos-Ferriz y S.A. Quiroz-Barroso (eds). *Studies on Mexico paleontology*. Springer Verlag, Dordrecht. Pp. 1-18.
- CITES (2024) Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres. Apéndices. <https://cites.org/esp/app/appendices.php>
- CONABIO (2010). Cacto viejito (*Cephalocereus senilis* Pfeiffer 1838). Fichas de especies mexicanas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, D.F.
- CONABIO (comp.) (2023). Catálogo de autoridades taxonómicas de especies de flora y fauna con distribución en México. Validador de taxonomía SNIB-CONABIO, México. Consultado [12/11/2023] en <https://www.snib.mx/taxonomia/validacion/>

- CONABIO. (2023). Mapas de distribución potencial de especies. Consultado [01/04/2024] <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/distribesp>
- Contreras-Medina R., I. Luna-Vega y C. A. Ríos-Muñoz (2010) Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso del suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83:421-433. Madrid, España. 552 p.
- Cornejo-Latorre., Rojas-Martínez., Aguilar-López y Juárez-Castillo. (2011). Abundancia estacional de los murciélagos herbívoros y disponibilidad de los recursos quiropterófilos en dos tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *THERYA*. Vol.2(2):169-182
- Cortés A. A.R., Gutiérrez L. I., Aoki M. K. (1998). Effect of *Backebergia militaris* cactus extract on intestinal smooth muscle contractility. 12(7), 480–483. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1573\(199811\)12:7<480::AID-PTR339>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199811)12:7<480::AID-PTR339>3.0.CO;2-A)
- Cortés-Pérez Paola. (2003). Orquidario UV, centro de investigación y conservación de especies, Xalapa, Veracruz. <https://www.uv.mx/citro/banner/orquidario-uv-centro-de-investigacion-y-conservacion-de-especies/>
- Cuervo-Robayo A. P., O. Téllez-Valdés, M. Gómez, C. Venegas-Barrera, J. Manjarrez y E. Martínez-Meyer. (2013). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.3848>
- Dar, S., Arizmendi, Ma. del C., & Valiente-Banuet, A. (2006). Diurnal and Nocturnal Pollination of *Marginatocereus marginatus* (Pachycereeae: Cactaceae) in Central Mexico. *Annals of Botany*, 97(3), 423-427. <https://doi.org/10.1093/aob/mcj045>
- De Bello, F., Janecek, S., Leps, J., Dolezal, J., Mackova, J., Lanta, V., Klimesova, J. (2012). Different plant trait scaling in dry versus wet Central European meadows. *Journal of Vegetation Science*. 23, 709-720. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01389.x>
- Dean, W.R.J.; Milton, S.J. (2019). The dispersal and spread of invasive alien *Myrtillocactus geometrizans* in the southern Karoo, South Africa. *South African Journal of Botany*, 121(), 210–215. [doi:10.1016/j.sajb.2018.11.005](https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.11.005)

- Delgado-Fernández, M., Escobar Flores, J. G. & Franklin, K. (2017). El cardón gigante (*Pachycereus pringlei*) y sus interacciones con la fauna en la península de Baja California, México. *Acta Universitaria*, 27(5), 11-18. [doi: 10.15174/ au.2017.1274](https://doi.org/10.15174/au.2017.1274)
- Delgado-Fernández, M., Garcillán, P. P., & Ezcurra, E. (2016). On the age and growth rate of giant cacti: radiocarbon dating of the spines of cardon (*Pachycereus pringlei*). *Radiocarbon*, 58(3), 479-490. [doi: 10.1017/ RDC.2016.25](https://doi.org/10.1017/RDC.2016.25)
- Dial, B.E. y Grimer, L.L. (1992). A phylogenetic analysis of physiological-ecological character evolution in the lizard genus *Coleonyx* and its implications for historical biogeographic reconstruction. *Systematic Biology* 41: 178-195.
- Domínguez, T. A. (1995). Efecto del suministro de agua en el desarrollo y el esfuerzo reproductivo de pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, México, 67p.
- Elith J., Phillips S. J., Hastie T., Dudík M., Chee Y. E. y Yates. C. J. (2011). A statistical explanation of Maxent for ecologist. *Diversity and Distributions*, 17,43-57
- Esquivel, P., (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2): 215-219.
- Ezcurra Real de Azúa, E., (1998). Patrones biogeográficos de las cactáceas columnares de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. G003. México D. F.
- Faegri, K. y L. van der Pijl. (1979). *The Principles of Pollination Ecology*. Pergamon Press. New York, USA. 244 pp.
- Felicísimo Á. M., J. Muñoz, C. J. Villalba y R. G. Mateo (2011) Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española. 1 Flora y Vegetación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Ferrier S. and A. Guisan (2006) Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology* 43:393-404.

- Fleming, T. H., y A. Valiente-Banuet (eds.). (2002). Columnar cacti and their mutualists. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- Fleming, T. H., y V. J. Sosa. (1994). Effects of nectarivorous and frugivorous mammals on reproductive success of plants. *Journal of Mammalogy* 75:845-851.
- Fleming, T.H., Tuttle, M.D., & Horner, M.A. (1996) Pollination biology and the relative importance of nocturnal and diurnal pollinators in three species of sonoran desert columnar cacti. *Southwestern Naturalist* 41: 257-269. <http://www.jstor.org/stable/30055122>
- Fleming, Theodore H.; Maurice, Sandrine; Buchmann, Stephen L.; Tuttle, Merlin D. (1994). Reproductive biology and relative male and female fitness in a trioecious cactus, *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *American Journal of Botany*, 81(7), 858–867. <http://doi:10.1002/j.1537-2197.1994.tb15567.x>
- Flores, G. J. A., y Macías, C. G. V. (2008). Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. *CIENCIA-UANL*, 11(1), 5-11p.
- Flores-Monter Y. N., Reyna-Trujillo T. J., Cervantes-Ramírez M. C., y Luna-Morales C.D.C. (2011). Distribución geográfica y potencial de *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) en la Mixteca Poblana, México. *Cact Suc Mex.* 56(1):4-20
- Flores-Tolentino, M., Ortiz, E., y Villaseñor, J.L. (2019). Ecological niche models as a tool for estimating the distribution of plant communities. *Revista Mexicana de Biodiversidad* Vol. 90 <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2829>
- Fuentes J., A. y Jiménez-Sierra C. L. (2007). Uso y manejo de las cactáceas en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Sitientibus Série Ciências Biológicas* 7: 78-85. [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/alessandro,+78-85%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/alessandro,+78-85%20(1).pdf)
- Galicia, L., A. García-Romero, L. Gómez-Mendoza, y M. I. Ramírez. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia.* 58:50-59.
- Gallina, S., S. Mandujano, J. Bello, H. F. López-Arévalo, y M. Weber. (2009). White-tailed deer *Odocoileus virginianus* (Zimmermann 1780). Pp. 101-118 in Neotropical cervidology:



Biology and medicine of Latin American deer (Duarte, J. M. B., y S. González, eds.). Funep and Gland, Suiza, IUCN, Jaboticabal, Brasil.

García-Rubio, Vargas-Ponce, Ramírez-Mireles, Munguía-Lino, Corona-Oceguera & Cruz-Hernández. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921-939. <https://doi.org/10.17129/botsci.282>

García-Ruiz, Miriam; Ruán-Tejeda, Irma; Zuloaga-Aguilar, Martha S.; Íñiguez-Dávalos, Luis I. (2018). Characterization of endozoochorous dispersal of pitayo *Stenocereus queretaroensis*, in Autlán, Jalisco, Mexico. *Ethology Ecology & Evolution*. 1828-7131. <https://doi.org/10.1080/03949370.2017.1423114>

Garvie, Laurence AJ (2003). Decay-induced biomineralization of the saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*). *American Mineralogist*, 88(11-12), 1879–1888. [doi:10.2138/am-2003-11-1231](https://doi.org/10.2138/am-2003-11-1231)

Gelista-García B.K. (2008). Descripción morfológica desde la germinación hasta su trasplante de tres especies de cactáceas amenazadas (*Astrophytum ornatum*, *Cephalocereus senilis* y *Coryphantha elephantidens*) y evaluación de la germinación. Tesis de licenciatura FES-I. UNAM, México, D.F. 30-46 pp.

Gibson A.C., Nobel P.S. (1986) The cactus Primer. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, pp 286.

Gibson, A.C. y E. Horack, (1978). Systematics, anatomy and phylogeny of Mexican columnar cacti. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 65(4): 999-1057.

Glass, C. (1998). Guía para la identificación de cactáceas amenazadas de México. Vol 1. CONABIO, México, D.F. Ediciones CANTE.

Godínez-Álvarez H. y Valiente-Banuet A. (2000). Fruit-Feeding Behavior of the Bats *Leptonycteris curasoae* and *Choeronycteris mexicana* in Flight Cage Experiments: Consequences for Dispersal of Columnar Cactus Seeds. *BIOTRÓPICA* 32(3), 552-556. [https://doi.org/10.1646/0006-3606\(2000\)032](https://doi.org/10.1646/0006-3606(2000)032)

Godínez-Álvarez H.O., Valverde T., Ortega-Baes P. (2003) Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical Review* 69: 173-203.

- Godínez-Álvarez, H., Valiente-Banuet, A., & Banuet, LV (1999). Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacán Valley, Mexico. *Can. J. Bot.*, 77(2), 203–208. [doi:10.1139/b98-207](https://doi.org/10.1139/b98-207)
- Godínez-Álvarez, H., Valiente-Banuet, A., & Rojas-Martínez, A. (2002). The role of seed dispersers in the population dynamics of the columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo*. *Ecology*, 83(9), 2617–2629. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2617:TROSDI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2617:TROSDI]2.0.CO;2)
- Goettsch, B., Hilton-Taylor, C., Cruz-Piñón, G., Duffy, J. P., Frances, A., Hernández, H. M., Inger, R., Pollock, C., Schipper, E., Superina, M., Taylor, N.P., Tognelli, M., Abba, A. M., Arias, S., Arreola-Nava, H.J., Panadero, M.A., Bárcenas, R.T., Barrios, D., Braun, P., Butterworth, C.A., Búrquez, A., Cáceres, F., Chazaro-Basañez, M., Corral-Díaz, R., del Valle Perea, M., Demaio, P.H., Duarte de Barros, W.A., Durán, R., Yancas, L.F., Felger, R.S., FitzMaurice, B., Fitz-Maurice, W.A., Gann, G., Gómez Hinostrosa, C., Gonzales-Torres, L.R., Patrick Griffith, M., Guerrero, P.C., Hammel, B., Kenneth D., Hernández-Oria, J.G., Hoffman, M., Ishihara, M.I., Kiesling, R., Larocca, J., León-de la Luz, J.L., Loaiza S., Christian R., Lowry, M., Machado, M.C., Majure, L.C., Ávalos, J.G. M., Martorell, C., Maschinski, J., Méndez, E., Mittermeier, R.A., Nassar, J.M., Negrón-Ortiz, V., Oakley, L.J., Ortega-Baes, P., Ferreira, A.B.P., Pinkava, D.J., Portero, J. M., Puente-Martínez, R., Gamarra, J.R., Pérez, P.S., Martínez, E.S., Smith, M., Manuel Sotomayor M. del C., J.; Stuart, SN., Muñoz, J. L.T., Terrazas, T., Terry, M., Trevisson, M., Valverde, T., Van Devender, T.R., Véliz-Pérez, M. E., Walter, Helmut E., Wyatt, S.A., Zappi, D., Zavala-Hurtado, J. A., Gastón, Kevin J. (2015). High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*, 1(10), 15142–. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.142>
- González-Insuasti, M. S. y Caballero, J. (2007). Managing plant resources: ¿How intensive can it be? *Human Ecology*, 35, 303–314. <https://doi.org/10.1007/s10745-006-9063-8>
- González-Pérez Adrián. (2019). Mamíferos del Orden Carnívora como Dispersores de semillas en una zona semiárida del Estado de Puebla. Universidad Autónoma Metropolitana, Tesis de maestría. 76p.
- González-Terrazas TP, Koblitz JC, Fleming TH, Medellín RA, Kalko EKV, Schnitzler H-U, et al. (2016) How Nectar-Feeding Bats Localize their Food: Echolocation Behavior of

*Leptonycteris yerbabuena* Approaching Cactus Flowers. PLoS ONE 11(9): e0163492.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163492>

- Gorostiague P. (2016) Las cactáceas y sus polinizadores en el Noroeste de Argentina: distribución geográfica, cambio climático y conservación. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, Universidad Nacional de La Plata.
- Granados-Sánchez, D., M. Á. Hernández-García, A. Vázquez-Alarcón y P. Ruíz-Puga. (2013). “Los procesos de desertificación y las regiones áridas”, en: Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 19. pp. 45-66.
- Grime, P. J. (1979). Plant strategies and vegetation processes. In Zañudo-Hernández (1998). Relación de los factores climáticos con el desarrollo y la actividad fisiológica en poblaciones silvestres y cultivadas de pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (weber) buxbaum). Tesis de licenciatura. UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
- Grinnell, J. (1917). The niche-relationships of the California Thrasher. Auk, 34, 427-433.
- Gudiño W. and De la Barrera E. (2014). Reproductive phenology and tolerance to high temperatures in *Stenocereus queretaroensis*. *Polibotánica* 37:63-78.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecology Letters, 8, 993–1009.
- Gutiérrez-Flores, Carina (2015). FILOGEOGRAFÍA Y ESTRUCTURA GENÉTICA POBLACIONAL DEL CARDÓN *Pachycereus pringlei* EN EL NOROESTE DE MÉXICO [Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.]. 174-P.
- Guzmán U., S. Arias M. y P. Dávila. (2003). Catálogo de cactáceas. UNAM, CONABIO. México, D.F.
- Hanley, J A; McNeil, B J (1983). A method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases. *Radiology*, 148(3), 839–843.  
[doi:10.1148/radiology.148.3.6878708](https://doi.org/10.1148/radiology.148.3.6878708)

- Hernández M. H., Bárcenas T. R. (1995). Endangered Cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution Patterns., 9(5), 1176–1188. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.9051169.x-i1>
- Hernández M. H., Bárcenas T. R. (1996). Endangered Cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and Conservation., 10(4), 1200–1209. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10041200.x>
- Hernández MH y Godínez H. (1994). Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana*, 26: 33-87.
- Hernández-Alva M, Chávez Ávila VM & Nevárez de los Reyes M. (2011). *Digitostigma caput-medusae* Velazco et Nevárez. *Cactáceas y suculentas mexicanas*. Vol. 56(1):4- 20.
- Hernández-Ramírez D. (2002). Frugivoría en *Stenocereus queretaroensis* (weber) buxbaum por aves y mamíferos y su contribución en la dispersión de semillas. Universidad de Guadalajara. Tesis de Licenciatura. 59p.
- Hernández-Soriano, A. (2006). Propagación in vitro del viejito (*Cephalocereus senilis*). [Tesis de licenciatura]. Para obtener el título de: Ingeniero Biotecnólogo. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA.
- Holmgren, M., Scheffer, M., 2010. Strong facilitation in mild environments: the stress gradient hypothesis revised. *Journal of Ecology*. 98, 1269–1275. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01709.x>
- Hughes, AC (2021). Wildlife trade. *Current Biology*, 31, R1218 – R1224. [https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(21\)01192-1.pdf](https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(21)01192-1.pdf)
- Humair, F., Humair, L., Kuhn, F. y Kueffer, C. (2015). E-commerce trade in invasive plants. *Conservation Biology*. 29, 1658 – 1665. <https://doi.org/10.1111/cobi.12579>
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. Cold Springs Harbor Symposia on Quantitative Biology 22:415-427.

- Ibarra-Cerdeña CN, Iñiguez-Dávalos LI, Sánchez-Cordero V. (2005). Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of Mexico. *American Journal of Botany*. 92(3):503-9. DOI: [10.3732/ajb.92.3.503](https://doi.org/10.3732/ajb.92.3.503).
- INEGI, (19/11/2021). 'Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000, Serie VII. Conjunto Nacional.', escala: 1:250 000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- INEGI, Metodología para la obtención de información de la serie II de uso del suelo y vegetación. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/metodologia.pdf>
- INEGI, (2001). 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie II (continuo nacional)', escala: 1:250000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Aguascalientes, Ags., México.
- Islas-Barrios, Y., Serrato-Díaz, A., Zavala-Hurtado, J. A., Octavio-Aguilar, P., Callejas-Chavero, A., y Cornejo-Romero, A. (2021). Las flores de *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae): Morfología y artrópodos visitantes en un gradiente geográfico. *Botanical Sciences*, 99(1), 28-42. <https://doi.org/10.17129/botsci.2515>
- Jackson, S. F., y K. J. Gaston. (2008). Land use change and the dependence of national priority species on protected areas. *Global Change Biology*. 14:2132-2138.
- Jennrich, R.I. and Turner, F.B. (1969). Measurement of noncircular home range. *Journal of Theoretical Biology*. 22:227-237. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(69\)90002-2](https://doi.org/10.1016/0022-5193(69)90002-2)
- Jianchu, X., Fox, J., Vogler, J.B., Peifang, Z., Yongshou, F., Lixin, Y., Jie, Q. and Leisz, S. (2005). Land-Use and Land-Cover Change and Farmer Vulnerability in Xishuangbanna Prefecture in Southwestern China. *Environmental Management*, 36: 404–413.
- Jiménez-Sierra C. L. (2011) Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria* 12:3-22.
- Jiménez-Sierra, C. L. y M. L. Matías-Palafox. (2014). Dinámica poblacional de cactáceas amenazadas. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB CONABIO, proyecto No. HK026. México D.F. Pág. 55-88.

- Johnson, H., V. C. Bleich y T. R. Stephenson. (2007). Modeling Sierra Nevada Bighorn Sheep habitat: applying resource selection functions to species recovery. California. Department of Fish and Game, Bishop, CA. 46 pp.
- Kearney, M. (2006). Habitat, environment and niche: What are we modeling? *Oikos*. 115(1) p.186-191 <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14908.x>
- Kie, J.G., J.A. Baldwin, y C.J. Evans. (1996). CALHOME: a program for estimating animal home ranges. *Wildlife Soc. B*. 24(2): 342-344.
- Lamoureux, J.F., Morrison, J.C., Ricketts, T.H., Olson, D.M., Denerstein, E., McKhight, M.W., & Shugart, H.H. (2006). Global test of biodiversity concordance and the importance of endemism. *Nature*, 440, 212–214.
- Lara-Rodríguez, N.Z., Díaz-Valenzuela, R., Martínez-García, V., Mauricio-López, E., Anaíd-Díaz, S., Valle, O.I., Fisher-de León, A.D., Lara, C., & Ortiz-Pulido, R., (2012). Redes de interacción colibrí-planta del centro-este de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(2), 569-577. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532012000200031&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532012000200031&lng=es&tlng=es).
- Lavorgna, A. (2014). Wildlife trafficking in the Internet age. *Crime Science*. 3, 5.
- Leal-Nares, Óscar, Mendoza, Manuel E., Pérez-Salicrup, Diego, Geneletti, Davide, López-Granados, Erna, & Carranza, Eleazar. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(4), 1152-1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.27199>
- Lebgue, T. y G. Quintana. (2010). Cactáceas de Chihuahua, tesoro estatal en peligro de extinción. Fondo Mixto-Conacyt, Instituto Chihuahuense de la Cultura. Chihuahua, México.
- Loechle, C. (1988). Tree life history strategies. The role of defenses. *Can. J. For. Res.* 18: 209-277.
- Lomelí-Mijes, E., 1991. “Demografía reproductiva y fenología floral en pitayo (*Stenocereus queretaroensis*, (Weber) Buxbaum)”. Universidad de Guadalajara. Tesis de licenciatura. 161p.

[http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2540/Lomeli\\_Mijes\\_Elba.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2540/Lomeli_Mijes_Elba.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Luna-Morales, C. y Aguirre, J. R. (2001). Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *Interciencia*, 26, 18–24.
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P. & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19. doi: 10.15174/au.2015.690
- Mandujano, M.C., Verhulst, J.A.M., Carrillo-Ángeles, I.G., Golubov, J. (2007). Population Dynamics of *Ariocarpus scaphirostris* Bödeker (Cactaceae): Evaluating the Status of a Threatened Species. *Int. J. Plant Sci.* 168(7):1035–1044. 2 <https://doi.org/10.1086/519008>.
- Mandujano, S., S. Gallina, G. Arceo, y L. A. Pérez-Jiménez. (2004). Variación estacional del uso y preferencia de los tipos vegetacionales por el venado cola blanca en un bosque tropical de Jalisco. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 20:45-67.
- Maqueda-Díaz E, Callejas-Chavero A. (2018). Riqueza y composición de artrópodos asociados a las flores de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console, 1897 en Huichapan, Hidalgo. *Entomología Mexicana*, 5: 267– 273 <https://acaentmex.org/entomologia/revista/2018/EC/EC%20267-273.pdf>
- Margulies, J. D., Moorman, F.R., Goettsch, B., Axmacher, J. C., & Hinsley, A. (2023). Prevalence and perspectives of illegal trade in cacti and succulent plants in the collector community. *Conservation Biology*, 37, e14030. <https://doi.org/10.1111/cobi.14030>
- Márquez-Márquez Anayeli. (2022). Congruencia filogenética en un grupo selecto de flora y fauna de la península de Baja California [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.]. 137-P.
- Martínez-Ávalos, J. y E. Jurado. (2005). “Geographic distribution and conservation of cactaceae from Tamaulipas México”, *Biodiversity and Conservation*, 14(10):2483-2506. DOI: [10.1007/s10531-004-0217-y](https://doi.org/10.1007/s10531-004-0217-y)

- Martínez-Cruz, J., Méndez-Toribio, M., Cortés-Flores, J., Coba-Pérez, P., Cornejo-Tenorio, G., & Ibarra-Manríquez, G. (2013). Estructura y diversidad de los bosques estacionales desaparecidos por la construcción de la presa Gral. Francisco J. Múgica, en la Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4), 1216-1234. <https://doi.org/10.7550/rmb.33799>
- Martínez-García, V. y Ortiz-Pulido, R. (2014). Redes mutualistas colibrí-planta: comparación en dos escalas espaciales. *Ornitología Neotropical* 25: 273-289. ISSN 1075-4377
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., & Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5. [doi:10.17129/botsci.508](https://doi.org/10.17129/botsci.508)
- Martínez-Palacios, A. (2007). *Backebergia militaris* (Audot) Bravo ex Sánchez-Mejorada (Cactaceae) un recurso industrial en grave riesgo de extinción. *Cactáceas y suculentas mexicanas*. Vol. 52 No. 4. 122-127.
- Martorell C y Peters EM. (2005). The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*, 124: 199-207.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. Reyes, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández and A. Pérez-Vega. (2004). "Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 5, no. 4, pp. 249-338. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.002>
- Masters, S., Anthoons, B., Madesis, P., G Saroja, S., Schermer, M., Gerritsen, W., Karahan, A., Verdoes, R., Schwallier, R., Van Andel, T., De Boer, H. y Gravendeel, B. (2022). "Cuantificación del comercio de vida silvestre en línea mediante un rastreador web ". *Biodiversidad y Conservación*, 31, 855 – 869. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03374-0>
- Mauseth, J. D. (2006). Structure-Function Relationships in Highly Modified Shoots of Cactaceae. *Annals of Botany*, 98(5), 901–926. [doi:10.1093/aob/mcl133](https://doi.org/10.1093/aob/mcl133)



- Mauseth, J.D., Terrazas, M. Vázquez Sánchez and S. Arias. (2005). Field observations on *Backebergia* and other cacti from Balsas Basin, México. *Cactus and Succulent Journal* (Los Angeles) 77:2-13.
- Medel-Narvaez A, León de la Luz LJ, Frenier-Martinez F, Molina-Frenier F. (2006). Patterns of abundance and population structure of *Pachycereus pringlei* (Cactaceae), a columnar cactus of the Sonoran Desert. *Plant Ecology* 187: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9128-1>
- Medel-Narváez, A. (2003). Biología floral y estructura poblacional del cardón [*Pachycereus pringlei* (S. Wats.) Britton and Rose (Cactaceae)] en El Comitán, Baja California Sur. Tesis de Maestría. La Paz, B.C.S. México.
- Medel-Narváez, A. (2008). Estudio Ecológico y Genético del Cardón (*Pachycereus pringlei*) en el Desierto Sonorense. Tesis de Doctorado. La Paz, B.C.S. México.
- Mendoza, Ma. G., Salinas M., Y., Olivo M., A., & Zúñiga, M. G. (2011). Factors influencing the geographical distribution of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Environmental Entomology*, 40(3), 549-559. <https://doi.org/10.1603/EN10059>
- Mendoza-Ponce A., V. (2012). Cactáceas en comercio: Estudio del comercio de las cactáceas mexicanas en el periodo 1999-2009. Editorial Académica Española.
- Meza-Rangel, Tafoya, Lindig-Cisneros, Sigala-Rodríguez, Pérez-Molphe-Balch. (2014). Distribución actual y potencial de las cactáceas *Ferocactus histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. perezdelarosae* en el estado de Aguascalientes, México. *Acta botánica mexicana*, (108), 67-80.
- Miles, L., A. C. Newton, R. S. DeFries, C. Ravillious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J. E. Gordon. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33:491-505.
- Molina-Frenier, F., Cervantes-Salas, Mauricio., Morales-Romero, D., Buchmann, S. and Fleming T. H. (2003). Does the Pollinator Abundance Hypothesis Explain Geographic Variation in

the Breeding System of *Pachycereus pringlei*? *International Journal of Plant Sciences*, 164(3), 383–393. [doi:10.1086/368394](https://doi.org/10.1086/368394)

Monteon-Ojeda, A., Piedragil-Ocampo, B., García-Escamilla, P., Durán-Trujillo, Y. y Romero-Rosales, T. (2021). Effect of imbibition treatments on the germination of *Stenocereus zopilotensis* (Cactaceae) native from Guerrero, Mexico. *Terra Latinoamericana* 39: 1-8. e827. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.827>

Morrone, J. J., T. Escalante y G. Rodríguez-Tapia. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa* 4277 (2): 277–279.

Mota-Vargas, C., Rojas-Soto, O. R. (2012). The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge. 20(1), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2011.07.002>

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.

Nava-Vargas V., J.D. Tejero y C.B. Chávez, (1999). Hábitos alimentarios del cacomixtle *Bassariscus astutus* (Carnívora: *Procyonidae*) en un matorral xerófilo en Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoología*, 70(1): 51-63.

Nix, H.A. (1986). A biogeographic analysis of the Australian elapid snakes. In: R. Longmore (ed.) *Atlas of elapid snakes. Australian Flora and Fauna Series No. 7.* pp. 4-15.

Núñez, H. (1993). Determinación de edades de una cactácea columnar gigante *Neobuxbaumia tetetzo* (Coulter) Backeberg, en Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Bachelors thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Núñez, M.C., Engleman, E. M. y J. Márquez, G. (2001). Embriología de *Pachycereus militaris* (Audot) Hunt (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 68:5- 13.

Octavio-Aguilar, P., Martínez-Falcón, A. P., Sánchez-González, A., Rojas-Martínez, A., Meerow, W. A., Ramírez-Bautista A., Ortiz-Pulido, R., Caballero-Cruz, P., Hernández-Rico G. N., Berriozabal-Islas, C. S. (2018). Influence of microhabitat on functional attributes of two

columnar cacti with different distribution ranges. *Journal of Arid Environments*. 162, 18-25 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.12.00>

Olmos-Lau V.R. y Mandujano M.C. (2016) An open door for illegal trade: online sale of *Strombocactus disciformis* (Cactaceae). *Nature Conservation* 15: 1–9. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.15.8259>

Paredes-Flores, M., Lira Saade, R., Dávila Aranda, P. D. (2007). Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Acta Botánica Mexicana*, núm. 79. pp. 13-61

Park, K.C. (1988). Environmental relationships and vegetation associates of columnar cacti in the northern Sonora Desert. *Vegetation*. 78: 151-141.

Pérez-Villafaña, M. G. y Valiente-Banuet, A. (2009). Effectiveness of dispersal of an ornithocorous cactus *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae) in a patchy environment. *The Open Biology Journal*, 2, 101–113. <https://doi.org/10.2174/1874196700902010101>

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. y Araújo, M. B. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton. Princeton University Press. 328 pp.

Peterson, A. T., V. Sánchez-Cordero, E. Martínez-Meyer, & A. G. Navarro-Sigüenza. (2006). Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-cover information. *Ecological Modelling*. 195: 229–236.

Peterson, A.T., Ball, L.G., y Cohoon, K.P. (2002). Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modeling methods. *Ibis*. 144: 27-32.

Phillips S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231–259.

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.

Phillips, S.J., Dudik, M., y Schapire, R.E. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. En: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine*

Learning, Banff, Canadá. 655-665. Disponible en [http://rob.schapire.net/papers/maxent\\_icml.pdf](http://rob.schapire.net/papers/maxent_icml.pdf)

Pimienta Barrios, Eulogio, (1999), El pitayo en Jalisco y especies afines en México. Guadalajara, Universidad de Guadalajara, Fundación Produce Jalisco, A.C. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/DialnetLosMercadosDeGuadalajaraMexicoEjemploDelConsumoDeP-4690846.pdf>

Pimienta, B.E. y V.M.L. Tomas. (1994). Caracterización en el peso y la composición química del fruto en variedades de pitayo (*Stenocereus queretaroensis*). *Revista Soc. Mex. Cact.* 38:82-88.

Pimienta-Barrios E., del Castillo R.F. (2002) Reproductive biology. En: Nobel P.S. (ed.) *Cacti: biology and uses. University of California Press.* pp. 163-183.

Pimienta-Barrios, E. y P. Nobel. (1994). Pitaya (*Stenocereus spp.* Cactaceae) An Ancient and Modern Fruit Crop of Mexico. *Economic Botany* 48: 76 – 83.

Pimienta-Barrios, E., y P.S. Nobel, (1998). Vegetative, reproductive, and physiological adaptations to aridity of pitayo *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum. *Economic Botany* 52(3):391-401.

Puente, M., Li, C., & Bashan, Y. (2009). Rock-degrading endophytic bacteria in cacti. *Environmental and Experimental Botany*, 66(3), 389-401. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.04.010>

QGIS Development Team, <2019>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.

Rafferty N.E., CaraDonna P.J., Bronstein J.L. (2015) Phenological shifts and the fate of mutualisms. *Oikos* 124: 14-21.

Rangel-Sánchez Laura Cassandra. (2017). ¿Modelos de distribución de especies o polígono mínimo convexo?: Evaluación del Estado de Conservación de libélulas del género *Argia* (Odonata: Coenagrionidae) Comparando Modelos de Distribución Potencial. Tesis de licenciatura. Universidad del Bosque, Bogotá. 37p.

- Rapoport, H.E. (1975). Areografía estrategias geográficas de las especies. México, D.F.: *Fondo de la cultura económica*. 214pp.
- Reynolds, J.F.; Maestre, F.T.; Huber-Sannwald, E.; Herrick, J.; Kemp, P.R. (2005). Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas*, 14 (3): 3-21.
- Rissler, Leslie; Apodaca, Joseph (2007). Adding More Ecology into Species Delimitation: Ecological Niche Models and Phylogeography Help Define Cryptic Species in the Black Salamander (*Aneides flavipunctatus*). *Systematic Biology*, 56(6), 924–942. [doi:10.1080/10635150701703063](https://doi.org/10.1080/10635150701703063)
- Robbins, Christopher S., ed. (2003). Prickly Trade: Trade and Conservation of Chihuahuan Desert Cacti, por Christopher S. Robbins y Rolando Tenoch Bárcenas Luna. Norteamérica. Washington D.C.: Fondo Mundial para la Naturaleza.
- Rojas-Martínez, A. (1996). Estudio poblacional de tres especies de murciélagos nectarívoros considerados como migratorios y su relación con la presencia estacional de los recursos florales en el Valle de Tehuacán y la Cuenca del Balsas, p. 88. Ms. C Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 93p.
- Rojas-Martínez, A., Alcántara-Eguren, A. Valiente-Banuet, y C. Arizmendi. (2004). Estacionalidad de los recursos florales y distribución del murciélago nectarívoro *Leptonycteris curasoae*, en Norteamérica. Pp. 219-234 in Homenaje a la trayectoria mastozoológica de José Ramírez Pulido (Castro-Campillo, A., y J. Ortega, eds.). UAM-I. México, Distrito Federal.
- Rojas-Martínez, A., Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M.C., Alcántara, A. y Arita, H., (1999). Seasonal distribution of the long nosed bat (*Leptonycteris curasoae*) in North America: ¿does a generalized migration pattern really exist? *Journal of Biogeography* 26: 1065-1077.
- Rosas-García EM. 2010. Efecto de la orientación preferencial sobre las estructuras reproductivas y vegetativas en *Myrtillocactus geometrizans* (Tesis Doctoral), Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, DF., México

- Ruán-Tejeda, I. (2016). Dispersión y diversidad genética de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) en Jalisco. Tesis de Doctorado, Universidad de Guadalajara. p61.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 432 pp.
- Sahley, C.T. 1996. Bat and hummingbird pollination of an autotetraploid columnar cactus, *Weberbauerocereus weberbaueri* (Cactaceae). *American Journal of Botany* 83: 1329-1336.
- Sajeva, M., Augugliaro, C., Smith, M. J., & Oddo, E. (2013). Regulating Internet Trade in CITES Species. *Conservation Biology*, 27(2), 429–430. [doi:10.1111/cobi.12019](https://doi.org/10.1111/cobi.12019)
- Salcedo P, E., y Arreola-Nava H, J. (1991), «El cultivo del pitayo en Techaluta, Jalisco», *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 36: 84-90.
- Sánchez M.E. y Cantú J.C., (1999). La guerra de las cactáceas. *Este País*. 102: 1-6 p. [https://archivo.estepais.com/inicio/historicos/102/13\\_medioambiente\\_cactaseas\\_cantu.pdf](https://archivo.estepais.com/inicio/historicos/102/13_medioambiente_cactaseas_cantu.pdf)
- Sanjuan-Trejo, G., Mejía-Segovia, D. M., & 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(0), 923487. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3487>
- Schweiger O., Heikkinen R.K., Harpke A., Hickler T., Klotz S., Kudrna O., Kühn I., Pöyry J., Settele J. (2012). Increasing range mismatching of interacting species under global change is related to their ecological characteristics. *Global Ecology and Biogeography*. 21: 88-99.
- Scott, J. M., P. J. Heglund, M. L. Morrison, J. B. Hafler, M. G. Raphael, W. A. Wall, y F. B. Samson. 2002. Predicting species occurrences: Issues of accuracy and scale. Island Press, Washington, EE.UU.
- Segurado, P., & Araújo, M. B. (2004). An evaluation of methods for modeling species distributions. *Journal of Biogeography*, 31(10): 1555-1568.
- SEMARNAT. (2010). DOF, Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna

Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo. México. 78 p.

Seminoff, J.A., A. Resendiz., y Nochols, W.J. 2002. Home range of Green turtle *Chelonia mydas* at a coastal foraging área in the gulf of California, México. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 242: 253-265.

Soberón J. and A. T. Peterson (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and specie's distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.

Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10(2), p.1115 – 1123. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>

Soberón, J., Osorio-Olvera, L., & Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 437-441. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>

Solís-Márquez, Oliva. (2017). DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y DEMOGRAFÍA DEL PITAYO (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) CON FINES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN [Tesis de doctorado, Colegio de postgraduados]. 115-P. [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3996/Solis\\_Marquez\\_O\\_DC\\_Ciencias\\_Forestales\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3996/Solis_Marquez_O_DC_Ciencias_Forestales_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Soriano, P.J., M. Sosa y O. Rossell. (1991). Feeding-habits of *Glossophaga longirostris* Miller (Chiroptera, Phyllostomidae) in an arid zone of Venezuelan Andes. *Revista de Biología Tropical* 39(2): 263-268.

Soto, J. C., J. Jiménez y C. Sánchez. (2010). El Infiernillo, Michoacán y Guerrero. In: Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México, G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo (eds.). *Fondo de Cultura Económica, México*, D. F. p. 464-467.

Sowls, L. K. (1984). The peccaries. University of Arizona Press, Tucson, EE.UU.

Srivastava, V., Griess, V. C. y Keena, M. A. (2020). Assessing the Potential Distribution of Asian Gypsy Moth in Canada: A Comparison of Two Methodological Approaches. *Nature Scientific Reports*, 10:22. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57020-7 1>

- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] Software Maxent para modelar nichos y distribuciones de especies (Versión 3.4.1). Disponible en la URL: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Consultado el 14 de noviembre de 2023.
- Stockwell, D.R.B., y Peters, D. (1999). The GARP modeling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Science*. 13: 143-158.
- Stoner, K. E., K. A. O.-Salazar, R. C. R.-Fernández, y M. Quesada. (2003). Population dynamics, reproduction, and diet of the lesser long nosed bat (*Leptonycteris curasoae*) in Jalisco, Mexico: implications for conservation. *Biodiversity and Conservation* 12:357-393.
- Terrazas, T., Cházaro, M. & Arreola, H. (2017). *Pachycereus militaris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T152409A121591933. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T152409A121591933.en>
- Trejo, I. (2004). Clima. In: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaca para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fundation. México, D.F. Pp. 67-85
- Trejo-Torres J.C. (2012). ¿POR QUÉ CAMBIAN LOS NOMBRES CIENTÍFICOS DE LAS PLANTAS? Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. *Herbario CICY*. 4:17–19. [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/)
- Tremlett CJ, Moore M, Chapman MA, Zamora-Gutiérrez V, Peh KS-H. (2019). Pollination by bats enhances both quality and yield of a mayor cash crop in México. *J Appl Ecol*. 2020; 57: 450–459. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13545>
- Turner, R. M., J.E. Bower, T.L. Burguess. (1995). Sonoran desert plants: an ecological atlas. University of Arizona Press. Tucson. 501p.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2001). Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN. Versión 3.1, segunda edición. Comisión de Supervivencia de



Especies de la UICN. Gland, Suiza.  
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2001-001-Es.pdf>

IUCN. (2024). Standards and Petitions Committee. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 16. Prepared by the Standards and Petitions Committee. Downloadable from <https://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>

Valiente Banuet, A. (1998). Polinización biótica y dispersión de semillas de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán, Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB CONABIO proyecto No. G017. México D. F.

Valiente-Banuet, A. (2002). Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 99-104.  
<https://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v75n1/art09.pdf>

Valiente-Banuet, A. y M.C. Arizmendi. (1997). Interacciones entre cactáceas y animales: polinización, dispersión de semillas y nuevos individuos. En: *Suculentas Mexicanas Cactáceas*. CVS Publicaciones. México. pp: 61-67.

Valiente-Banuet, A., and Ezcurra, E. (1991). Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *J. Ecol.* 79: 961–971.

Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M. del C., Rojas-Martínez, A., and Domínguez-Canseco, L. (1996). Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. 12: 103–119.

Valiente-Banuet, A., Rojas-Martínez, A., Arizmendi, M.C. & Dávila, P. (1997a) Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacán Valley, central Mexico. *American Journal of Botany* 84: 452-455.

Valiente-Banuet, A., Rojas-Martínez, A., Casas, A., Arizmendi, M.C. & Dávila, P. (1997b) Pollination biology of two winter-blooming giant columnar cacti in the Tehuacán Valley, central Mexico. *Journal of Arid Environments*. 37: 331-341.

- Valiente-Banuet, A., Vital Rumebe, A., Verdú, M., y Callaway, R.M. (2006). Modern Quaternary plant lineages promote diversity through facilitation of ancient Tertiary lineages. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(45), 16812-16817.
- Valiente-Banuet, A.; M.C. Arizmendi, A. Rojas-Martínez, A., Casas, A., Silva, C., Godínez, H., y Dávila, P., 2002. "Biotic Interactions and population dynamics of columnar cacti". En: Fleming, T. y Valiente-Banuet, A. (Eds). *Evolution, Ecology and Conservation of Columnar Cacti and their Mutualists. University of Arizona Press*. pp. 225-240.
- Valiente-Banuet., A., p. Davila, R.J. Ortega, M.C. Arizmendi, J.L. León, A. Breceda y J. Cancino. (1995). Influencia de la evolución de una pendiente de piedemonte en la vegetación del cardón *Pachycereus pringlei* en Baja California Sur, México. *Investigaciones Geográficas* 3: 101-113.
- Vázquez-Sánchez M. Terrazas T y Arias S. (2005). Morfología y anatomía del cefalio de *Cephalocereus senilis* (Cactaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 62 (2): 153-161.
- Vázquez-Sánchez, M., Terrazas, T., & Arias, S. (2016). Comparative morphology and anatomy of *Backebergia militaris* (Echinocereae–Cactaceae) cephalium. *Plant Systematics and Evolution*, 302(3), 245-256. <https://doi.org/10.1007/s00606-015-1256-4>
- Vázquez-Sánchez-Teresa-Terrazas y A. Arias. (2012). El hábito y la forma de crecimiento en la Tribu Cacteeae (Cactaceae, Cactoideae). *Botanical Sciences* 90 (2): 97-108.
- Velázquez, A.; Mas, J. F.; Díaz Gallegos, J. R.; Mayorga Saucedo, R.; Alcántara, P. C.; Castro, R.; Fernández, T.; Bocco, G.; Ezcurra, E.; Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*. 62, 21-37.
- Villaseñor J. L. y O. Téllez-Valdés (2004) Distribución potencial de especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica* 75:205-220.
- Villaseñor J. L. y O. Téllez-Valdés (2004) Distribución potencial de especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica* 75:205-220.
- WFO (2023): World Flora Online. Publicado en Internet; <http://www.worldfloraonline.org> . Consultado el: 23 de enero del 2023

- Wilcove, DS, Giam, X., Edwards, DP, Fisher, B. y Koh, LP (2013). " Navjot's nightmare revisited: logging, agriculture, and biodiversity in Southeast Asia". *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 531 – 540. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.04.005>
- Wittemyer, G., Northrup, JM, Blanc, J., Douglas-Hamilton, I., Omondi, P. y Burnham, KP (2014). " Illegal killing for ivory drives global decline in African elephants". *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 111, 13117 – 13121. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1403984111>
- Wood, C., Sullivan, B., Iliff, M., Fink, D., & Kelling, S. (2011). eBird: engaging birders in science and conservation. *PLoS Biology*, 9 (12). <http://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001220>
- Xiao, Y., Guan, J. y Xu, L. (2017). Wildlife Cybercrime in China. *TRAFFIC*. 1-11. [https://www.traffic.org/site/assets/files/2108/briefing-online\\_wildlife\\_trade-2016.pdf](https://www.traffic.org/site/assets/files/2108/briefing-online_wildlife_trade-2016.pdf)
- Yáñez-Arenas, C., Mandujano, S., Martínez-Meyer, E., Pérez-Arteaga, A. A., & González-Zamora, A. (2012). Modelación de la distribución potencial y el efecto del cambio de uso de suelo en la conservación de los ungulados silvestres del Bajo Balsas, México. *Therya*, 3(1), 67-79. <https://doi.org/10.12933/therya-12-62>
- Yu, X. y Jia, W. (2015). MOVING TARGETS: TRACKING ONLINE SALES OF ILLEGAL WILDLIFE PRODUCTS IN CHINA. *TRAFFIC*. [https://www.trafficj.org/publication/15\\_briefing\\_China-monitoring-report.pdf](https://www.trafficj.org/publication/15_briefing_China-monitoring-report.pdf)
- Zañudo- Hernández J. 1998. Relación de los factores climáticos con el desarrollo y la actividad fisiológica en poblaciones silvestres y cultivadas de pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara.
- Zavala-Hurtado, J.A. y Valverde P.L. (2003). Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. *Journal of Vegetation Science* 14: 891-898 DOI: [10.1111/j.1654-1103.2003.tb02222.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02222.x)
- Zunino, M. & Palestrini, C. (1991). El concepto de especie y la biogeografía. *Anales de Biología*, 17, 85-88.

**ANEXO 1.** Especies de mamíferos, aves, artrópodos y reptiles reportados en la bibliografía como visitantes florales, polinizadores, consumidores del fruto y dispersores de semillas de las especies de estudio.

Especie	Grupo	Orden	familia	Especie	Tipo de asociación	Referencias		
<i>Cephalocereus senilis</i>	Mamíferos	Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Ds, Cf, Vf, Pl	Valiente-Banuet et al., (1996); Arizmendi et al. (2002); Fleming y Valiente-Banuet (2002); Stoner et al., (2003); Cornejo-Latorre et al., (2011).		
				<i>Choeronycteris mexicana</i>	Ds, Cf, Vf, Pl			
				<i>Glossophaga soricina</i>	Ds, Cf, Vf, Pl			
				<i>Sturnira parvidens</i>	Cf, Pl			
				<i>Sturnira hondurensis</i>	Cf			
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	Mamíferos	Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Ds, Cf, Vf, Pl	Alcorn et al., (1959, 1961, 1962); Fleming et al., (1994, 1996); Valiente-Banuet et al., (1996, 1997a, 1997b); Valiente Banuet, A. (1998); Casas et al., (1999); Rojas-Martínez et al., (1996, 1999); Valiente-Banuet et al., (2002; 2006); Godínez-Álvarez et al., (2002); Godínez-Álvarez and Valiente-Banuet, (2000).		
				<i>Leptonycteris nivalis</i>	Ds, Vf, Pl			
				<i>Choeronycteris mexicana</i>	Ds, Cf, Vf, Pl			
				<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Cf, Vf, Pl			
				<i>Artibeus jamaicensis yucatanicus</i>	Ds, Cf, Vf, Pl			
	Aves			<i>Picidae</i>	<i>Melanerpes hypopolius</i>		Cf, Vf, Pl	
				<i>Fringillidae</i>	<i>Carpodacus mexicanus</i>		Cf	
				<i>Columbidae</i>	<i>Zenaida asiatica</i>		Cf	
				<i>Mimidae</i>	<i>Mimus polyglottos</i>		Cf	
				<i>Ptilonotidae</i>	<i>Phainopepla nitens</i>		Cf	
				<i>Troglodytidae</i>	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>		Cf	
				<i>Cardinalidae</i>	<i>Guiraca caerulea</i>		Cf	
					<i>Cyanocopsa parellina</i>		Cf	
				Trochiliforme	<i>Trochilidae</i>		<i>Calothorax lucifer</i>	Vf
							<i>Cynanthus sordidus</i>	Vf, Pl
		<i>Amazilia violiceps</i>	Vf, Pl					
Artrópodos	Hymenoptera	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Vf, Pl				

**Tipo de asociación:** Consumidor de frutos (Cf); Dispersor de semillas (Ds); Depredador de semillas (Dp); Visitante floral (Vf) y polinizador (Pl).

## Anexo 1 (Continuación)

Especie	Grupo	Orden	familia	Especie	Tipo de asociación	Referencias	
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Aves	Apodiformes	Trochilidae (colibri)	<i>Calothorax lucifer</i>	Vf	Nava-Vargas et al., (1999); Rojas-Martínez et al., (1999); Pérez-Villafaña y Valiente-Banuet, (2009); Lara-Rodríguez et al., (2012); Martínez-García & Ortiz-Pulido, (2014); Castillo-Picazo y García-Collazo (2018).	
				<i>Cynanthus latirostris</i>	Vf		
				<i>Lamprotornis clemenciae</i>	Vf		
				<i>Calothorax pulcher</i>	Vf		
		Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes hypopolius</i>	Ds, Vf		
		Columbiformes	Columbidae	<i>Zenaida asiatica</i>	Dp		
		Passeriformes	Passerellidae	<i>Aimophila mystacalis</i>	Dp		
			Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysopeplus</i>	Dp		
				<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Dp		
				<i>Passerina versicolor</i>	Dp		
				Fringillidae	<i>Carpodacus mexicanus</i>		Dp
				Passeri	<i>Carduelis psaltria</i>		Dp
		Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon elegans</i>	Ds		
		Coraciiformes	Momotidae	<i>Momotus mexicanus</i>	Ds		
		Piciformes	Picidae	<i>Picoides scalaris</i>	Ds		
		Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Ds		
				<i>Myiarchus cinerascens</i>	Ds		
				<i>Myiarchus nuttingi</i>	Ds		
				<i>Tyrannus vociferans</i>	Ds		
				Troglodytidae	<i>Campylorhynchus jocosus</i>		Ds
				Turdidae	<i>Catharus guttatus</i>		Ds
				Mimidae	<i>Mimus polyglottos</i>		Ds
					<i>Toxostoma curvirostre</i>		Ds
Ptilogonatidae	<i>Phainopepla nitens</i>			Ds, Vf			
Mamíferos	Carnivora			Canidae	<i>Urocyon cinereargenteus</i>	Ds, Cf	
		Procyonidae	<i>Bassariscus astutus</i>	Ds, Cf			
	Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Cf, Vf			

**Tipo de asociación:** Consumidor de frutos (Cf); Dispersor de semillas (Ds); Depredador de semillas (Dp); Visitante floral (Vf) y polinizador (PI).

### Anexo 1 (Continuación)

Especie	Grupo	Orden	familia	Especie	Tipo de asociación	Referencias
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Artrópodos	Hymenoptera	<i>Apidae</i>	<i>Apis mellifera</i>	Pl	Maqueda-Díaz & Callejas-Chavero (2018); Dean & Milton, (2019); González-Pérez A. (2019); Islas-Barrios et al., (2021); Sanjuan-Trejo et al., (2021).
				<i>Xylocopa capensis</i>	Pl	
			<i>Apidae</i>		Pl	
			<i>Syrphidae</i>		Pl	
			<i>Vespidae</i>		Pl	
			<i>Halictidae</i>	Pl		
		Arachnida		Cf, Vf		
		Diptera		Cf, Vf		
		Hymenoptera		Cf, Vf		
		Odonata		Cf, Vf		
		Coleoptera		Cf, Vf		
Hemiptera		Cf, Vf				
Lepidoptera		Cf, Vf				
Orthoptera		Cf, Vf				
<i>Thysanoptera</i>		Vf				
<i>Lophocereus marginatus</i>	Mamíferos	Chiroptera	<i>Phyllostomidae</i>	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Cf, Vf, Pl	Arizmendi y Espinosa de los Monteros, (1996); Rojas-Martínez et al., (1999); Dar et al., (2006); Cornejo-Latorre et al., (2011); Martínez-García & Ortiz-Pulido, (2014).
				<i>Choeronycteris mexicana</i>	Cf, Vf, Pl	
				<i>Leptonycteris nivalis</i>	Cf, Pl	
	Aves	Trochiliforme	<i>Trochilidae</i>	<i>Amazilia violiceps</i>	Ds, Vf, Pl	
				<i>Calothorax lucifer</i>	Vf, Pl	
				<i>Archilochus colubris</i>	Vf, Pl	
				<i>Cynanthus sordidus</i>	Ds, Cf, Pl	
Artrópodos	Lepidoptera		<i>Cynanthus latirostris</i>	Ds, Cf, Vf, Pl		
			<i>polilla nocturna</i>			
<i>Pachycereus militaris</i>		Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Cf, Vf	Rojas-Martínez et al., (1999); Arias y Terrazas, (2008).

**Tipo de asociación:** Consumidor de frutos (Cf); Dispersor de semillas (Ds); Depredador de semillas (Dp); Visitante floral (Vf) y polinizador (Pl).

## Anexo 1 (Continuación)

Especie	Grupo	Orden	familia	Especie	Tipo de asociación	Referencias	
<i>Pachycereus pringlei</i>	Murciélagos	Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Ds, Cf, Vf, Pl	Alcorn et al., (1959, 1961, 1962), Fleming et al., (1994, 1996), Valiente-Banuet et al., (1996, 1997a, 1997b), Casas et al. (1999); Rojas-Martínez et al., (1999); Fleming y Valiente-Banuet, (2002); Valiente-Banuet et al., (2002); Medel-Narváez, (2003); Molina-Freaner et al., (2003); Rojas-Martínez et al., (2004); Blázquez & Rodríguez-Estrella (2001; 2007); González-Terrazas et al. (2016); Delgado-Fernández et al., (2017).	
			Vespertilionidae	<i>Antrozous pallidus</i>	Cf, Vf, Pl		
			Phyllostomidae	<i>Choeronycteris mexicana</i>	Vf		
	Aves	Passeriformes	Cardinalidae	<i>Cardinalis cardinalis</i>	Cf		
			Icteridae	<i>Icterus cucullatus</i>	Cf, Pl		
			Icteridae	<i>Icterus parisorum</i>	Vf		
			Corvidae	<i>Aphelocoma coerulescens</i>	Vf		
			Remizidae	<i>Auriparus flaviceps</i>	Vf		
			Troglodytidae	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	Vf		
			Fringillidae	<i>Carpodacus mexicanus</i>	Vf		
			Tyrannidae	<i>Myiarchus cinerascens</i>	Vf		
			Aegithalidae	<i>Psaltriparus minimus</i>	Vf		
			Mimidae	<i>Toxostoma cinereum</i>	Vf		
				<i>Toxostoma curvirostre</i>	Vf		
			Columbiformes	Columbiforme	<i>Zenaida asiatica</i>		Cf, Vf, Pl
					<i>Zenaida macroura</i>		Vf
			Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes uropygialis</i>		Cf, Pl
	<i>Colaptes auratus</i>	Vf					
	<i>Melanerpes uropygialis</i>	Vf					
	<i>Picoides scalaris</i>	Vf					
Apodiformes	Trochilidae	<i>Calypte costae</i>	Vf				
Insectos nocturnos			<i>Hyles lineata</i>	Vf			
Insectos diurnos			<i>Apis mellifera</i>	Vf			

**Tipo de asociación:** Consumidor de frutos (Cf); Dispersor de semillas (Ds); Depredador de semillas (Dp); Visitante floral (Vf) y polinizador (Pl).

**Anexo 1 (Continuación)**

Especie	Grupo	Orden	familia	Especie	Tipo de asociación	Referencias
<i>Pachycereus pringlei</i>	Artrópodos	Diptera	Neriidae	<i>Brachygastra mellifica</i>	Vf	
					Vf	
				Formicidae spp.	Vf	
			Hymenoptera		Vf	
			Sphingidae		Vf	
			Lepidoptera		Vf	
			Coleoptera		Vf	
	Reptiles		Neriidae	<i>Ctenosaura hemilopha</i>	Cf	
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	Mamíferos		Bovidae	<i>Bos Taurus</i>	Cf	Lomeli-Mijes E. (1991); Rojas-Martínez et al., (1999); Hernández-Ramírez D. (2002); Castillo, (2003); Ibarra-Cerdeña et al., (2005); Ruán-Tejeda, (2016); Tremlett et al., (2019); García-Ruíz et al., (2018).
			Sciuridae	<i>Spermophilus spp.</i>	Cf	
			Procyonidae	<i>Bassariscus astutus</i>	Cf, Ds	
				<i>Nasua narica</i>	Cf	
			Leporidae	<i>Sylvilagus sp.</i>	Cf, Ds	
			Phyllostomidae	<i>Dermanura tolteca</i>	Cf, Ds	
				<i>Leptonycteris yerbabuenae</i>	Ds, Cf, Vf, Pl	
				<i>Leptonycteris nivalis</i>	Ds, Cf, Vf	
				<i>Choeroniscus godmani</i>	Cf, Ds	
				<i>Glossophaga soricina</i>	Cf, Vf, Pl	
				<i>Artibeus jamaicensis</i>	Cf, Ds, Vf, Pl	
				<i>Artibeus lituratus</i>	Cf, Ds	
				<i>Sturnira hondurensis</i>	Cf, Ds	
				<i>Sturnira parvidens</i>	Cf, Ds	
				<i>Dermanura phaeotis</i>	Cf, Ds	
	<i>Dermanura azteca</i>	Cf, Ds				
	<i>Leptonycteris sp.</i>	Vf, Pl				
	<i>Choeronycteris mexicana</i>	Vf				

**Tipo de asociación:** Consumidor de frutos (Cf); Dispersor de semillas (Ds); Depredador de semillas (Dp); Visitante floral (Vf) y polinizador (Pl).



Anexo 1 (Continuación)

Especie	Grupo	Orden	familia	Especie	Tipo de asociación	Referencias		
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	Aves			<i>Amazilia beryllina</i>	Cf, Vf	Lomeli-Mijes E. (1991); Rojas-Martínez et al., (1999); Hernández-Ramírez D. (2002); Castillo, (2003); Ibarra-Cerdeña et al., (2005); Ruán-Tejeda, (2016); Tremlett et al., (2019); García-Ruíz et al., (2018).		
				<i>Melanerpes aurifrons</i>	Vf			
				<i>Cyananthus latirostris</i>	Cf, Vf			
				<i>Amazilia viridifrons</i>	Cf			
				<i>Calothorax lucifer</i>	Pl			
				<i>Amazilia violiceps</i>	Cf, Vf			
				<i>Amazilia beryllina</i>	Cf, Vf			
				<i>Amazilia violiceps</i>	Cf, Vf			
				<i>Amazilia beryllina</i>	Cf, Vf			
				<i>Amazilia violiceps</i>	Cf, Pl			
				<i>Archilochus alexandri</i>	Vf			
				<i>Cyananthus latirostris</i>	Cf			
				<i>Heliomaster constantii</i>	Cf			
				<i>Columbiformes</i>	Columbidae		<i>Columbina talpacoti</i>	Cf, Dp
							<i>Columbina inca</i>	Cf
							<i>Zenaida asiatica</i>	Cf
				<i>Piciformes</i>	Picidae		<i>Melanerpes chrysogenys</i>	Ds, Cf, Vf
							<i>Centurus aurifrons</i>	Pl
							<i>Picoides scalaris</i>	Ds, Cf, Pl
				<i>Psittaciformes</i>	Psittacidae		<i>Forpus cyanopygius</i>	Cf
				<i>Passeriformes</i>	Cardinalidae		<i>Piranga rubra</i>	Cf
							<i>Passerina caerulea</i>	Cf
							<i>Passerina leclancherii</i>	Cf
							<i>Passerina versicolor</i>	Ds, Cf, Pl
								Ds, Cf, Vf,
					Icteridae		<i>Icterus pustulatus</i>	Pl
							<i>Icterus parisorum</i>	Vf, Pl
							<i>Icterus cucullatus</i>	Cf, Vf
	Corvidae	<i>Cyanocorax samblasianus</i>	Cf					
	Parulidae	<i>Setophaga coronata</i>	Vf, Pl					

**Tipo de asociación:** Consumidor de frutos (Cf); Dispersor de semillas (Ds); Depredador de semillas (Dp); Visitante floral (Vf) y polinizador (Pl).

**Anexo 1 (Continuación)**

<b>Especie</b>	<b>Grupo</b>	<b>Orden</b>	<b>familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Tipo de asociación</b>	<b>Referencias</b>			
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	Aves	Galliformes	Gallináceas	<i>Gallus gallus</i>	Cf, Ds	Lomeli-Mijes E. (1991); Rojas-Martínez et al., (1999); Hernández-Ramírez D. (2002); Castillo, (2003); Ibarra-Cerdeña et al., (2005); Ruán-Tejeda, (2016); Tremlett et al., (2019); García-Ruíz et al., (2018).			
			Trochilidae spp.	<i>Ictericia sp.</i>	Vf, Pl				
					Vf				
	Insectos	Hymenoptera	Apidae		<i>Apis mellifera</i>		Vf		
					<i>Epicharis spp.</i>		Vf		
					<i>Xylocopa spp.</i>		Vf		
					<i>Exomalopsis spp.</i>		Vf		
					<i>Halictidae</i>		<i>Lasioglossum spp.</i>	Vf	
							<i>Agapostemon spp.</i>	Vf	
					<i>Sphingidae</i>		<i>Polilla halcón</i>	Vf	
					Hymenoptera		<i>Vespidae</i>	<i>Avispas</i>	Vf
							<i>Apoidea</i>	Vf	
							<i>Syrphidae</i>	Vf	
	Coleoptera	<i>Nitidulidae</i>		Vf					
		<i>Tiphidae</i>	Vf						
		<i>Formicidae</i>	Vf						

**Tipo de asociación:** Consumidor de frutos (Cf); Dispensor de semillas (Ds); Depredador de semillas (Dp); Visitante floral (Vf) y polinizador (Pl).

**ANEXO 2.** Variables utilizadas y perfil bioclimático de las especies de estudio. Se presentan los valores mínimos y máximos, así como el valor promedio y su desviación estándar para cada variable.

**Tabla 2.1** Variables utilizadas y perfil bioclimático de *Cephalocereus senilis* y *Cephalocereus tetetzo*. Se presentan los valores mínimos y máximos, así como el valor promedio y su desviación estándar para cada variable.

	<b>Descripción</b>	<b><i>Cephalocereus senilis</i></b>	<b><i>Cephalocereus tetetzo</i></b>
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)	13.6 - 21.8 (17.4 ± 1.9)	14.7 - 25.2 (20.4 ± 1.8)
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	12.3 - 15.4 (14.3 ± 6.7)	12.5 - 16.0 (14.7 ± 5.2)
BIO3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)	6 - 6 (6 ± 0)	5 - 6 (5.9 ± 0.2)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	5 - 9 (7.2 ± 0.7)	5 - 8 (6.9 ± 0.5)
BIO5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	24.2 - 34.1 (28.8 ± 2.3)	24.7 - 37.8 (32.4 ± 2.2)
BIO6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	3.7 - 9.4 (5.8 ± 1.3)	5.1 - 13.1 (8.9 ± 1.4)
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	19.8 - 25.2 (23.0 ± 1.2)	19.6 - 25.5 (23.4 ± 9.3)
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	14.3 - 23.9 (18.6 ± 2.1)	15.4 - 26.6 (22.1 ± 1.7)
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	11.8 - 18.8 (14.7 ± 1.5)	13.1 - 22.4 (17.6 ± 1.7)
BIO10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	15.7 - 24.8 (19.8 ± 2.0)	16.6 - 28.0 (22.8 ± 2.0)
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	11.3 - 17.7 (14.3 ± 1.5)	12.7 - 21.8 (17.4 ± 1.6)
BIO12	Precipitación anual (mm)	472 - 1344 (781.4 ± 20.7)	325 - 987 (438.4 ± 9.2)
BIO13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	23 - 74 (44.10 ± 1.0)	20 - 51 (26.0 ± 4.3)
BIO14	Precipitación del periodo más seco (mm)	0	0
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	74 - 86 (81.0 ± 2.5)	88 - 103 (96.6 ± 1.8)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	227 - 700 (402.3 ± 11.0)	177 - 574 (231.6 ± 5.9)
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0 - 93 (49.4 ± 1.8)	0 - 37 (0.9 ± 5.2)
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	154 - 375 (241.9 ± 5.0)	80 - 288 (129.6 ± 26.5)
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	24 - 106 (52.7 ± 1.9)	6 - 41 (13.6 ± 4.6)
	Elevación	1069 - 2400 (1682 ± 28.6)	700 - 2250 (1522.9 ± 301.8)

**Tabla 2.2** Variables utilizadas para determinar el perfil bioclimático de *Lophocereus marginatus* y *Myrtillocactus geometrizans*. Se presentan los valores mínimos y máximos; entre paréntesis el promedio y la desviación estándar.

Abreviación	Descripción	<i>Lophocereus marginatus</i>	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)	13.5 - 26.9 (17.4 ± 1.9)	12.9 - 25.3 (18.1 ± 2.0)
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	12.9 - 19.2 (15.9 ± 1.2)	12.2 - 20.6 (15.7 ± 1.0)
BIO3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)	5 - 7 (5.9 ± 0.1)	5 - 7 (5.9 ± 0.2)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	5 - 10 (7.6 ± 1.4)	5 - 13 (8.1 ± 1.3)
BIO5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	24.1 - 39.1 (30.0 ± 2.3)	23.3 - 38.0 (30.8 ± 2.3)
BIO6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	3 - 15.1 (4.9 ± 2.2)	6 - 13.2 (5.6 ± 2.0)
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	19.6 - 30.7 (25.1 ± 2.1)	19.6 - 32.2 (25.1 ± 1.7)
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	14.6 - 27.4 (19.2 ± 2.0)	13.6 - 26.6 (20.0 ± 2.2)
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	11.0 - 27.8 (15.1 ± 2.2)	10.8 - 23.9 (15.6 ± 2.1)
BIO10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	15.4 - 28.8 (20.0 ± 2.1)	14.9 - 28.0 (20.8 ± 2.2)
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	10.9 - 24.8 (14.1 ± 1.9)	10.8 - 21.8 (14.6 ± 1.9)
BIO12	Precipitación anual (mm)	334 - 805 (514.5 ± 10.8)	315 - 1257 (492.1 ± 11.7)
BIO13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	15 - 55 (28.0 ± 8.8)	13 - 71 (26.1 ± 8.5)
BIO14	Precipitación del periodo más seco (mm)	0	0
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	59 - 118 (88.6 ± 1.2)	58 - 113 (86.3 ± 1.2)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	158 - 547 (285.7 ± 8.6)	138 - 666 (269.3 ± 8.6)
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0 - 48 (9.7 ± 1.4)	0 - 82 (15.4 ± 1.6)
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	89 - 373 (193.3 ± 5.2)	79 - 349 (183.9 ± 4.6)
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	7 - 49 (25.5 ± 7.3)	6 - 90 (28.2 ± 1.0)
	Elevación	341 - 2486 (1894.0 ± 29.6)	700 - 2757 (1785.9 ± 35.1)

**Tabla 2.3** Variables utilizadas para realizar el perfil bioclimático de la especie *Pachycereus pringlei* y *Pachycereus militaris*. Se presentan los valores mínimos y máximos; entre paréntesis el promedio y la desviación estándar.

<b>Abreviación</b>	<b>Descripción</b>	<b><i>Pachycereus pringlei</i></b>	<b><i>Pachycereus militaris</i></b>
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)	0 - 24.0 (19.4 ± 5.1)	25.1 - 27.9 (26.3 ± 9.5)
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	0 - 18.8 (14.6 ± 3.9)	12.3 - 15.2 (14.1 ± 8.0)
BIO3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)	0- 6 (4.5 ± 1.2)	5 - 6 (5.8 ± 0.3)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	0 - 23 (15.4 ± 4.8)	4 - 7 (5.3 ± 0.7)
BIO5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	0 - 40.4 (33.9 ± 8.6)	35.2 - 41.2 (37.9 ± 1.8)
BIO6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	0-10.8 (6.3 ± 2.5)	13.2 - 16.5 (14.9 ± 8.9)
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	0 - 37.7 (27.5 ± 7.4)	19.5 - 25.2 (23.0 ± 1.5)
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	0 -30.9 (20.8 ± 8.8)	25.3 - 28.4 (26.9 ± 8.9)
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	0-25.2 (20.2 ± 5.2)	25.1 - 29.4 (26.9 ± 1.2)
BIO10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	0 - 31.2 (25.6 ± 6.7)	26.8 - 31.0 (28.4 ± 1.2)
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	0 - 18.7 (13.8 ± 3.9)	22.8 - 25.6 (24.2 ± 8.5)
BIO12	Precipitación anual (mm)	0 - 546 (162.3 ± 9.4)	631 - 1170 (777.6 ± 11.8)
BIO13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	0 - 60 (12.0 ± 1.0)	36 - 75 (46.0 ± 8.5)
BIO14	Precipitación del periodo más seco (mm)	0	0
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	0 - 184 (92.2 ± 3.4)	105 - 120 (110.9 ± 4.1)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	0 - 454 (102.5 ± 7.8)	397 - 808 (506.7 ± 9.1)
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0	0
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	0 - 413 (79.2 ± 7.5)	77 - 331 (205.8 ± 9.4)
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	0 - 167 (43.8 ± 2.1)	17 - 38 (28.1 ± 6.5)
	Elevación	0 - 1461 (249.1 ± 256.8)	300 - 1100 (475.5 ± 19.1)

**Tabla 2.4.** Variables utilizadas para determinar el perfil bioclimático de *Stenocereus queretaroensis*. Se presentan los valores mínimos y máximos; entre paréntesis el promedio y la desviación estándar.

<b>Abreviación</b>	<b>Descripción</b>	<b><i>Stenocereus queretaroensis</i></b>
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)	15.7 - 24.9 (19.2 ± 1.8)
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	12.9 - 18.7 (16.3 ± 9.9)
BIO3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)	5 - 6 (5.9 ± 0.2)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	6 - 10 (8.2 ± 0.9)
BIO5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	27.9 - 39.5 (32.6 ± 2.1)
BIO6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	3.8 - 11.4 (6.1 ± 1.7)
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	22.3 - 31.0 (26.4 ± 1.7)
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	17.2 - 26.2 (21.1 ± 1.8)
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	13.0 - 25.0 (18.2 ± 2.6)
BIO10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	18.1 - 27.3 (22.0 ± 1.8)
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	12.9 - 22.1 (15.6 ± 1.8)
BIO12	Precipitación anual (mm)	378 - 1002 (685.4 ± 15.0)
BIO13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	16 - 66 (42.8 ± 1.2)
BIO14	Precipitación del periodo más seco (mm)	0
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	72 - 120 (104.5 ± 1.2)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	179 - 680 (445.8 ± 12.7)
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0 - 29 (4.2 ± 9.8)
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	145 - 492 (285.2 ± 7.5)
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	20 - 57 (31.4 ± 6.3)
	Elevación	743 - 2300 (1667 ± 33.4)

**ANEXO 3.** Matriz de transición 2001-2021 en las áreas de distribución (potencial y PMC) de las especies de estudio.

**Tabla 3.1.** Superficie de cambio en la vegetación y uso del suelo de 2001-2021, en la distribución de la especie *Cephalocereus senilis*: a) distribución potencial y b) polígono mínimo convexo.

a)

km <sup>2</sup> 2001	2021												Total
	MX	BP	BQ	BTC	BTP	BMM	AGR	PZ	VI	SVA	CA	AH	
Matorral xerófilo	1542.0	4.3	15.7	23.5	0.0	0.0	54.0	3.9	44.8	0.6	0.1	1.7	1690.7
Bosque de pino	4.5	1074.2	22.6	0.0	0.0	0.1	54.0	0.0	22.4	0.1	0.1	1.1	1179.2
Bosque de encino	8.9	37.1	2350.1	3.3	0.0	1.5	35.8	0.1	46.6	2.8	0.0	0.2	2486.4
Bosque tropical caducifolio	1.1	0.5	13.7	267.8	0.0	0.0	10.9	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	295.4
Bosque tropical perennifolio	0.0	0.0	0.0	0.0	28.4	0.4	5.4	0.0	5.7	0.0	0.0	1.1	41.0
Bosque mesófilo de montaña	2.5	6.1	7.3	0.0	0.1	561.6	28.8	0.0	20.7	0.4	0.0	0.7	628.2
Agricultura	98.6	92.8	85.0	18.6	2.6	64.3	1288.1	5.3	52.1	3.2	1.4	21.0	1733.1
Pastizal	6.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	3.4	72.4	0.0	0.0	0.0	0.3	83.4
Vegetación inducida	71.9	58.4	52.7	12.3	0.0	24.3	56.4	0.0	705.0	2.0	0.6	1.1	984.6
Sin vegetación aparente	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cuerpo de agua	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	14.2	0.0	14.4
Asentamientos humanos	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	10.4
												total	9147

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

b)

Km <sup>2</sup> 2001	2021											Total
	AGR	BP	BQ	BTC	BMM	MX	PZ	SVA	CA	AH		
Agricultura	573.36	42.22	11.38	0.28	12.77	38.66	28.74	2.86	0.15	11.19	722	
Bosque de pino	10.35	464.88	0.96	0.01	0.28	0.71	2.37	0.00	0.00	0.47	480	
Bosque de encino	13.35	20.60	270.80	0.08	0.06	1.61	4.34	1.45	0.00	0.02	312	
Bosque tropical caducifolia	0.32	0.00	0.00	27.11	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	28	
Bosque mesófilo de montaña	0.59	0.67	0.22	0.00	146.09	0.00	2.95	0.00	0.00	0.00	151	
Matorral xerófilo	37.27	3.73	2.09	0.25	0.05	645.44	39.68	1.42	0.06	0.37	730	
Pastizal	30.50	66.67	4.39	8.16	8.33	59.83	411.88	1.46	0.43	0.89	593	
Sin vegetación aparente	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	
Cuerpo de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	10.62	0.00	11	
Asentamientos humanos	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.72	3	
											Total	3029

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

**Tabla 3.2.** Superficie de cambio en la vegetación y uso del suelo de 2001-2021, en la distribución de la especie *Cephalocereus tetetzo*: b) distribución potencial y c) polígono mínimo convexo.

c)

km <sup>2</sup> 2001	2021											Total	
	MX	BP	BQ	BTC	BMM	AGR	VI	SVA	CA	OTV	AH		
Matorral xerófilo	1649.1	31.5	0.2	0.5	0.0	65.2	5.6	0.0	0.0	0.0	1.3	1753.5	
Bosque de pino	0.2	237.8	0.5	1.1	0.0	21.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	261.4	
Bosque de encino	2.0	2.2	402.1	8.6	0.2	36.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	452.6	
Bosque tropical caducifolio	22.6	1.0	11.8	1975.5	0.0	31.9	7.1	0.0	1.6	0.0	1.0	2052.5	
Bosque mesófilo de montaña	0.0	0.0	0.0	0.0	28.1	25.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0	
Agricultura	16.5	6.1	23.0	90.7	1.8	1209.7	6.0	0.0	0.7	0.1	38.1	1392.6	
Vegetación inducida	97.1	40.4	17.3	76.3	0.0	77.2	305.7	0.6	0.0	3.6	3.8	622.0	
Sin vegetación aparente	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	
Cuerpo de agua	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	24.2	0.0	34.1	
Otro tipo de vegetación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Asentamientos humanos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	51.4	52.0	
												Total	6677

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

d)

Km <sup>2</sup> 2001	2021							Total	
	AGR	BP	BQ	BTC	MX	VI	AH		
Agricultura	471.947	0.573	1.621	16.503	11.881	4.019	11.209	517.8	
Bosque de pino	0.182	20.946	0.017	0.123	0.013	0.001	0	21.3	
Bosque de encino	2.121	0.018	265.005	0.151	1.955	3.083	0	272.3	
Bosque tropical caducifolio	9.056	0.07	4.362	1085.41	22.003	6.587	0.01	1127.5	
Matorral xerófilo	22.173	0.004	0.123	0.394	862.653	1.685	0.225	887.3	
Vegetación inducida	26.638	0	8.486	2.441	21.56	138.674	1.519	199.3	
Asentamientos humanos	0.286	0	0	0	0.029	0	36.824	37.1	
								Total	3063

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).



**Tabla 3.3.** Superficie de cambio en la vegetación y uso del suelo de 2001-2021, en la distribución de la especie *Pachycereus militaris*: e) distribución potencial y f) polígono mínimo convexo.

e)

km <sup>2</sup> 2001	2021													Total
	BTC	BP	BQ	AGR	BTP	BTS	BE	VI	SVA	CA	VH	AH	ZA	
Bosque tropical caducifolia	14638.9	92.1	304.4	932.4	0.0	74.5	2.0	1957.4	7.0	28.5	6.0	15.2	0.0	18058.4
Bosque de pino	31.9	730.5	64.7	12.3	0.0	0.7	0.0	50.4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	890.9
Bosque de encino	243.2	113.8	2474.8	43.3	0.3	11.5	1.7	326.9	0.5	0.0	0.4	0.5	0.0	3216.9
Agricultura	1049.6	7.0	43.3	4779.9	0.0	1.6	1.9	309.3	9.3	14.1	4.5	141.6	0.2	6362.3
Bosque tropical perennifolio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bosque tropical subcaducifolio	17.7	0.4	2.4	0.1	0.0	175.9	0.0	36.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	233.5
Bosque espinoso	2.8	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	4.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	15.2
Vegetación inducida	2190.1	39.3	332.8	420.8	0.0	10.8	11.2	2046.2	0.9	4.0	1.2	27.1	0.0	5084.4
Sin vegetación aparente	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
Cuerpo de agua	6.1	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	377.8	0.2	0.2	0.0	388.2
Vegetación hidrófila	0.1	0.0	0.0	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	12.3	0.5	0.0	27.1
Asentamientos humanos	1.2	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	127.4	0.0	130.3
Zonas acuícolas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

34408

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

f)

Km <sup>2</sup> 2001	2021									Total
	AGR	BP	BQ	BTC	BE	VI	SVA	CA	AH	
Agricultura	1556.2	0.762	12.466	403.85	1.902	49.348	0.211	3.992	38.59	2067
Bosque de pino	5.803	72.871	4.64	2.751	0	0.457	0	0	0	87
Bosque de encino	2.237	17.196	449.72	40.692	1.67	24.463	0	0	0.052	536
Bosque tropical caducifolio	276.75	17.325	75.406	4777.1	1.981	209.97	0	7.337	3.846	5370
Bosque espinoso	4.264	0	0	2.585	4.151	1.264	0	0	0	12
Vegetación inducida	79.502	15.765	64.671	674.26	11.153	329.73	0.237	0.582	2.87	1179
Sin vegetación aparente	0.348	0	0	0	0	0	0.505	0.005	0	1
Cuerpo de agua	1.245	0	0	3.93	0	0.107	0.027	282.85	0.037	288
Asentamientos humanos	0.846	0	0	1.074	0	0.013	0	0	48.304	50
Total										9590

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

**Tabla 3.4.** Superficie de cambio en la vegetación y uso del suelo de 2001-2021, en la distribución de la especie *Lophocereus marginatus*: g) distribución potencial y h) polígono mínimo convexo.

g)

km <sup>2</sup> 2001	2021																Total
	MX	BP	BQ	BTC	BTP	BTS	BMM	BE	AGR	PZ	VI	SVA	CA	VH	OTV	AH	
Matorral xerófilo	37562.7	74.5	284.9	42.0	0.0	7.3	0.0		2719.1	209.8	251.3	28.8	11.9	1.3	25.4	158.1	41377.2
Bosque de pino	32.7	4921.8	373.5	19.4	0.0		0.0		275.5	36.7	79.2	5.4	0.2			3.6	5748.1
Bosque de encino	75.2	144.4	16160.8	377.0	0.0	0.2	1.5		866.3	160.8	672.1	14.5	3.6		0.0	15.3	18491.9
Bosque tropical caducifolio	66.5	10.8	349.9	14977.0		1.4		1.8	2205.1	91.9	721.8	10.0	8.1	1.4	0.0	81.3	18526.9
Bosque tropical perennifolio	0	0.0	0.0		43.4		2.9		4.7		7.3					0.2	58.5
Bosque tropical subcaducifolio	16.0	0	1.1	0.0		22.5			6.9		2.7						49.3
Bosque mesófilo de montaña	1.3	1.7	1.4	0.0	0.1		459.1		39.0		17.7	0.3	0.0			1.4	522.1
Bosque espinoso	0	0	0	1.0			0										1.0
Agricultura	1886.0	320.1	1080.8	1632.7	1.1	0.0	45.7	0.6	58971.5	1145.6	1113.7	36.7	91.9	3.1	35.2	2420.2	68784.9
Pastizal	176.8	64.9	399.2	132.1				1.2	3314.2	11234.9	214.2	21.3	24.8	5.7	2.4	128.2	15719.9
Vegetación inducida	472.8	254.0	1490.3	918.2	1.3	0.0	16.3	0.0	3380.3	101.6	8944.3	30.1	12.2	0.7	9.0	253.4	15884.5
Sin vegetación aparente	1.7	0.1	0.7	0.0					23.2	3.7	8.5	132.5	15.3	0.0		12.6	198.2
Cuerpo de agua	7.7	0.1	2.1	3.0					72.6	12.1	3.2	0.1	1451.5	36.3	0.1	3.9	1592.7
Vegetación hidrófila				0.9					13.4	9.7	0.0	0.0	30.1	35.3		6.1	95.5
Otro tipo de vegetación	7.5			0.3					91.7	38.4	0.5	0.9	0.0			803.6	945.6
Asentamientos humanos	2.6	0.6	1.0	0.9			0.0	0.0	30.7	0.8	11.0	0.2	9.1		0.0	2987.8	3044.7
																	191041.1
																	1

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

h)

Km <sup>2</sup> 2001	2021														Total
	AGR	BP	BQ	BTC	BE	MX	PZ	VI	SVA	CA	VH	OTV	AH	ZA	
Agricultura	54502	776.2	1175.1	1364.1	0.53	4.84	0.55	1469.9	1009.4	1150.5	38.4	87.7	10.2	2751.8	64341
Bosque de pino	590.41	10268	470.33	39.114	0.71	30.12	0	29.3	44.3	198.9	3.7	1.2	0.0	18.6	11695
Bosque de encino	703.77	281.31	14520	152.47	0.283	3.805	0	76.1	117.9	486.8	14.6	3.1	0.0	21.1	16381
Bosque tropical caducifolio	1023.2	9.8	246.04	11386	0.001	1.401	1.802	45.6	36.4	438.1	8.1	3.4	2.1	90.8	13293
Bosque espinoso	1.469	0	1.116	0	0	0	0	16.0	0	0.819	0	0	0	0	19
Matorral xerófilo	18.50	7.06	1.2	0.001	0	201.99	0	2.6	0	0.582	0	0	0	0.47	232
Pastizal	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0
Vegetación inducida	1727.7	66.6	260.5	51.9	7.33	0.076	0	22617.1	101.5	183.2	22.9	16.7	1.3	128.0	25185
Sin vegetación aparente	2950.5	72.8	237.4	93.5	0		1.183	113.3	9373.4	134.4	22.4	17.2	5.7	114.6	13136
Cuerpo de agua	2870.8	437.5	1255.2	760.1	0	7.932	0.003	418.9	75.8	8200.2	26.7	14.1	5.5	261.5	14334
Vegetación hidrófila	23.99	1.02	0.68	0.006	0	0	0	0.9	1.4	8.2	177.0	3.0	0.0	12.3	228
otro tipo de vegetación	48.34	0.78	2.05	2.65	0.001	0	0	8.1	14.4	4.3	0.1	1069.7	37.3	3.5	1191
Asentamientos humanos	14.92	0	0	0.89	0	0	0	0.0	9.8	1.3	0.0	30.1	40.7	6.2	104
Zonas acuícolas	30.03	1.48	1.19	1.21	0	0.007	0	1.1	0.7	12.1	0.2	6.1	0.0	3055.6	3110
															163250

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

**Tabla 3.5.** Superficie de cambio en la vegetación y uso del suelo de 2001-2021, en la distribución de la especie *Myrtillocactus geometrizans*: i) distribución potencial y j) polígono mínimo convexo.

i)

km <sup>2</sup> 2001	2001																Total
	MX	BP	BQ	BTC	BTP	BTS	BMM	BE	AGR	PZ	VI	SVA	CA	VH	OTV	AH	
Matorral xerófilo	46728.1	66.5	300.9	70.2		8.1	0.0	0.0	3568.7	219.5	252.0	29.4	18.1	1.3	70.6	173.6	51507
Bosque de pino	34.1	5915.7	404.6	27.3		1.3	0.1		120.1	35.6	75.0	2.6	0.5			1.6	6619
Bosque de encino	100.9	285.5	17107.5	427.0	0.0	1.2	1.8	0.0	471.4	155.1	553.1	12.3	2.5	0.0	0.1	17.3	19136
Bosque tropical caducifolio	64.0	48.1	400.8	17548.1		1.1	0.0	1.8	1631.5	97.9	701.9	19.3	14.2	13.7	0.0	98.9	20641
Bosque tropical perennifolio			0.0		21.4		2.5		2.1		3.4					0.5	30
Bosque tropical subcaducifolio	16.0		1.5	0.0		57.6	0.0		3.4		1.7						80
Bosque mesófilo de montaña	2.5	3.0	2.9	0.0	0.3		422.4		28.4		12.0	0.4	0.0			0.5	473
Bosque espinoso	0.0		0.0	1.0				6.0									7
Agricultura	2160.8	228.1	915.6	1831.6	2.4	1.4	51.8	0.6	52314.2	1081.5	1177.1	50.1	83.6	3.6	42.3	2345.7	62290
Pastizal	183.3	61.0	362.2	109.3				1.2	2215.1	10469.8	187.8	21.1	15.7	5.7	3.2	121.3	13757
Vegetación inducida	455.2	202.5	1247.5	987.4	0.0	0.0	12.7	0.0	2213.8	98.8	8393.7	26.4	10.5	0.5	10.2	276.9	13936
Sin vegetación aparente	1.5		0.7	0.0					19.6	0.6	8.6	119.2	9.6	0.0	0.0	12.6	172
Cuerpo de agua	8.4	0.1	2.2	1.1	0.0				40.0	19.9	3.2	0.1	1042.1	31.6	0.1	4.0	1153
Vegetación hidrófila			0.9	0.9					29.1	9.8	0.0	0.0	27.4	28.1		6.1	101
Otro tipo de vegetación	42.3	0.0	0.9	0.2					169.1	294.7	0.5	1.5	0.4		1472.6	3.2	1985
Asentamientos humanos	2.7	0.5	1.1	0.5			0.0	0.0	30.0	0.7	12.4	0.3	6.0		0.2	2941.6	2996

Total 194883

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuáticas (ZA).

j)

Km <sup>2</sup> 2001	2021																Total
	AGR	BP	BQ	BTC	BTP	BTS	BMM	BE	MX	PZ	VI	SVA	CA	VH	OTV	AH	
Agricultura	82509.2	1247.7	1453.6	1959.0	412.4	12.5	188.3	0.6	2894.9	1463.0	1877.9	45.0	99.8	10.8	0.6	3046.5	97222
Bosque de pino	966.7	18111.4	700.7	49.9	0.0	1.5	30.9	0.0	38.4	51.2	327.8	6.7	1.9	0.0	0.0	27.8	20315
Bosque de encino	991.7	603.6	28503.8	490.9	4.7	0.5	7.8	0.0	113.2	300.8	812.0	18.8	3.6	0.0	0.0	23.9	31875
Bosque tropical caducifolio	1522.6	16.6	470.5	19560.5	3.4	72.1	1.5	1.8	79.1	156.7	717.4	16.6	11.6	14.2	0.3	100.9	22746
Bosque tropical perennifolio	326.4	0.0	6.1	38.1	2873.7	0.0	15.5	0.0	0.0	8.8	487.0	0.0	0.4	0.0	0.0	14.3	3770
Bosque tropical subcaducifolio	6.9	0.0	1.2	0.0		48.9	0.0	0.0	16.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0		76
Bosque mesófilo de montaña	117.6	29.5	10.2	0.0	3.5	0.0	2344.6	0.0	2.6	0.0	88.4	0.4	0.0	0.0	0.0	3.4	2600
Bosque espinoso	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		7
Matorral xerófilo	4409.1	100.9	348.3	94.5	0.0	23.9	0.1	0.0	52105.4	293.5	312.0	31.5	19.6	2.2	0.0	184.6	57926
Pastizal	4224.1	165.1	801.7	204.2	0.0	0.0	0.0	1.2	318.8	17864.2	386.1	28.0	24.8	5.7	0.0	156.5	24181
Vegetación inducida	4203.4	633.4	1585.1	1268.3	325.7	0.0	120.9	0.0	537.5	145.0	13893.5	34.0	29.3	15.7	39.6	329.4	23161
Sin vegetación aparente	25.2	1.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	4.4	8.5	191.5	20.4	0.0	0.0	12.6	269
Cuerpo de agua	57.0	1.8	3.2	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	13.8	9.6	0.1	1245.4	42.6	0.0	4.3	1390
Vegetación hidrófila	22.8	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	5.6	0.5	30.5	59.0	0.0		6.2	135
otro tipo de vegetación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Asentamientos humanos	41.3	1.9	1.3	1.7	0.4	0.0	0.0	0.0	2.9	1.2	15.7	0.3	9.0	0.0	0.0	3568.5	3644

Total 289316

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuáticas (ZA).

**Tabla 3.6.** Superficie de cambio en la vegetación y uso del suelo de 2001-2021, en la distribución de la especie *Pachycereus pringlei*. k) distribución potencial y l) polígono mínimo convexo.

k)

km <sup>2</sup> 2001	2021														Total
	MX	BP	BQ	BTC	BE	AGR	PZ	VI	SVA	CA	VH	OTV	AH	ZA	
Matorral xerófilo	133336.8	17.0	14.8	321.4	737.5	1380.7	0.8	2247.3	182.4	6.8	318.7	167.8	349.3	103.8	139185
Bosque de pino	2.7	105.4	0.3			0.0		2.3			0.0		0.5		111
Bosque de encino	6.5	0.1	348.1	7.6		1.8		0.5			0.0		0.0		365
Bosque tropical caducifolio	475.1	0.0	68.8	4129.9	0.1	23.7		85.2	0.6	0.9	6.7		10.9		4802
Bosque espinoso				0.3	273.3	8.9		63.7		0.0	1.9	0.0	1.2		349
Agricultura	233.1	0.1	0.3	0.5	19.4	7285.9	0.3	836.1	16.4	1.7	38.3	21.5	256.6	2.3	8712
Pastizal	0.7					1.0	24.3	0.0			1.6	0.2	0.0		28
Vegetación inducida	146.9	1.7	2.4	2.9	7.3	353.0	0.0	1893.3	1.5	2.1	7.4	2.9	59.9	1.8	2483
Sin vegetación aparente	31.4					3.0		9.5	4091.4	31.9	31.5	58.3	56.7	54.3	4368
Cuerpo de agua	1.5			0.0	0.3	2.7	0.0	19.7	19.9	286.7	1.2	2.3	0.3	18.1	353
Vegetación hidrófila	115.3	0.0	0.0	1.7	0.0	55.4	0.5	17.4	11.6	0.2	1432.7	29.2	4.6	0.9	1670
Otro tipo de vegetación	282.0		0.0	0.9	0.6	126.1	3.0	213.8	112.6	17.8	160.3	10741.3	19.8	214.4	11893
Asentamientos humanos	4.2		0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	1.1	0.1	0.5	0.1	0.1	617.6	40.0	666
Zonas acuícolas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

Total 174984

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

l)

Km <sup>2</sup> 2001	2021														Total
	AGR	BP	BQ	BTC	BE	MX	PZ	VI	SVA	CA	VH	OTV	AH	ZA	
Agricultura	3530.6	0.0	0.0	0.5	1.6	188.2	0.0	618.1	0.7	0.0	17.7	1.0	50.1	2.3	4411
Bosque de pino	0.1	638.0	1.0	0.0	0.0	2.5	0.0	9.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	652
Bosque de encino		3.7	466.1	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	478
Bosque tropical caducifolio	23.5	0.0	71.8	3685.8	0.0	5.0	0.0	24.9	0.5	0.9	5.7	0.0	10.7	0.0	3829
Bosque espinoso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Matorral xerófilo	998.8	5.9	1.9	11.2	89.3	127280.7	2.2	1631.7	184.1	20.3	382.3	36.8	215.4	248.5	131109
Pastizal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
Vegetación inducida	237.9	3.8	0.0	0.7	0.0	115.8	0.0	937.3	0.0	0.1	2.4		17.6	1.8	1317
Sin vegetación aparente	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	53.3	0.0	0.0	1403.9	31.6	27.6	6.9	1.0	43.8	1569
Cuerpo de agua	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	18.6	91.3	1.0	0.0	0.3	0.7	116
Vegetación hidrófila	27.1	0.0	0.0	1.7	0.0	99.3	0.0	2.1	11.8	0.0	1042.5	1.8	1.4	0.1	1188
otro tipo de vegetación	16.1	0.0	0.0	0.0	0.0	80.3	0.0	6.1	14.9	2.2	18.8	650.7	1.0	6.9	797
Asentamientos humanos	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.5	0.2	0.0	0.1	0.0	231.9	0.0	236
Zonas acuícolas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

Total 145705

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

**Tabla 3.7.** Superficie de cambio en la vegetación y uso del suelo de 2001-2021, en la distribución de la especie *Stenocereus queretaroensis*: m) distribución potencial y n) polígono mínimo convexo.

m)

km <sup>2</sup> 2001	2021																Total
	MX	BP	BQ	BTC	BTP	BTS	BMM	BE	AGR	PZ	VI	SVA	CA	VH	OTV	AH	
Matorral xerófilo	6622.8	15.8	82.0	17.9		2.2	0.0		645.5	36.9	52.6	5.4	6.5	1.3	2.2	48.4	7539.6
Bosque de pino	23.9	6254.1	474.6	129.8		4.8	12.8		282.3	19.8	172.5	3.6	1.5		1.7	2.2	7383.7
Bosque de encino	36.5	325.9	15909.8	587.0	0.0	26.6	23.8		1034.8	110.1	1117.1	16.0	4.2	0.0	0.2	20.7	19212.7
Bosque tropical caducifolio	14.0	55.9	494.2	16706.7		10.9	0.3	1.8	2997.2	38.2	1739.8	23.4	45.6	1.4	0.0	131.2	22260.6
Bosque tropical perennifolio			0.0		3.7		0.0		0.1		2.8						6.6
Bosque tropical subcaducifolio	2.0	7.6	15.8	21.2		211.1	0.5		16.4		48.9	0.3	0.2		0.4	0.1	324.5
Bosque mesófilo de montaña	1.0	20.9	26.0	0.1	0.0	0.4	298.0		10.8		11.2		0.4			0.5	369.2
Bosque espinoso																	0.0
Agricultura	428.4	215.2	629.4	1485.5	0.7	27.0	11.4	0.6	40815.7	656.3	1109.0	26.2	89.3	21.6	11.9	1477.2	47005.3
Pastizal	54.2	43.8	219.3	96.2				1.2	2954.6	7063.2	120.5	18.8	15.1	5.7	2.2	72.8	10667.8
Vegetación inducida	118.2	201.4	929.1	1408.5		40.1	14.4	0.0	2887.0	73.0	7432.1	15.8	16.8	1.4	3.3	162.5	13303.4
Sin vegetación aparente	0.1	0.0	0.8	0.8		0.0			20.5	0.6	0.1	25.3	22.1	1.9	0.0	6.6	78.8
Cuerpo de agua	7.0	0.0	2.8	2.5		0.0			114.5	19.1	2.6	0.1	2132.7	55.9	0.1	6.6	2343.8
Vegetación hidrófila			2.0	3.7		1.7	3.3		55.5	11.7	0.9	4.9	119.1	74.8	3.9	1.1	282.5
Otro tipo de vegetación	3.7	3.7	0.8	0.1		0.9			39.2	1.0	2.7	0.4	0.6	1.0	225.3	1.5	280.9
Asentamientos humanos	0.8	0.5	1.1	2.2		0.0	0.0	0.0	28.2	0.5	4.3	0.2	8.8	0.0	0.0	1561.1	1607.7

Total 132667.0

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).

n)

Km <sup>2</sup> 2001	2021													Total
	AGR	BP	BQ	BTC	BMM	BE	MX	PZ	VI	SVA	CA	VH	AH	
Agricultura	28050.6	167.5	329.3	939.9	0	0.553	193.3	318.7	615.2	18.2	67.9	19.4	1121.5	31842
Bosque de pino	277.434	3586.9	130.3	53.9	0.572	0	2.996	4.393	78.161	1.062	1.264	0	1.177	4138
Bosque de encino	695.168	173.9	6564.7	145.9	0.01	0	3.808	24.342	407.377	8.463	2.821	0.012	13.543	8040
Bosque tropical caducifolio	2176.12	36.0	297.0	8474.3	0	1.802	11.348	30.587	871.576	8.381	6.576	1.33	109.323	12024
Bosque mesófilo de montaña	0	0.5	0.158	0	44.337	0	0	0	0	0	0	0	0	45
Bosque espinoso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matorral xerófilo	377.9	1.1	10.9	14.5	0	0	2488.1	9.7	29.5	3.2	1.1	1.0	39.4	2976
Pastizal	1652.2	2.2	74.3	82.4	0	1.161	21.2	2196.4	51.5	12.4	7.5	5.1	35.7	4142
Vegetación inducida	1754.7	106.4	355.3	581.7	0	0.003	52.4	18.7	3767.0	7.6	8.3	1.4	115.1	6769
Sin vegetación aparente	0.043	0	0.005	0.004	0	0	0.15	1.38	0.06	8.37	21.49	1.85	0.00	33
Cuerpo de agua	103.1	0	3.346	1.417	0	0	0.32	13.05	1.97	0.13	1873.12	55.31	5.89	2058
Vegetación hidrófila	48.7	0	0	2.008	0	0	3.86	11.68	0.05	4.89	115.90	67.33	1.09	255
Asentamientos humanos	16.8	0.128	0.905	1.003	0	0	0.07	0.35	3.44	0.14	1.69	0.03	1220.08	1245

Total 73568

Agricultura (AGR), bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña (BMM), bosque espinoso (BE), matorral xerófilo (MX), pastizal (PZ), vegetación inducida (VI), sin vegetación aparente (SVA), cuerpo de agua (CA), vegetación hidrófila (VH), otro tipo de vegetación (OTV), asentamientos humanos (AH) y zonas acuícolas (ZA).



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

# ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00231

Matrícula: 2212801371

Distribución e importancia socio-ecológica de cactáceas arbóreas de México.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 12:00 horas del día 2 del mes de octubre del año 2024 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO  
DR. ALBERTO ENRIQUE ROJAS MARTINEZ  
DR. JOSE ALBERTO BURQUEZ MONTIJO  
DRA. CLAUDIA BALLESTEROS BARRERA



SUSANA LOPEZ TORRALBA  
ALUMNA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretaria 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: SUSANA LOPEZ TORRALBA

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*

REVISÓ

MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ  
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

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

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBS

DR. JOSE LUIS GOMEZ OLIVARES

PRESIDENTE

DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

VOCAL

DR. ALBERTO ENRIQUE ROJAS MARTINEZ

VOCAL

DR. JOSE ALBERTO BURQUEZ MONTIJO

SECRETARIA

DRA. CLAUDIA BALLESTEROS BARRERA