



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"ZARAGOZA"

**Distribución, riqueza y diversidad de los
nopales silvestres, *Opuntia* Mill. y *Nopalea*
Salm-Dyck, en la república Mexicana.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

ANGEL GAYTAN VILLAFUERTE

DIRECTOR: Dra. Léia Akcelrad Lerner de Scheinvar

Adscripción: Jardín Botánico, IB-UNAM

ASESOR INTERNO: Dr. David N. Espinosa Organista

Adscripción: Carrera de Biología, FES Zaragoza, UNAM.



MÉXICO, D.F.

Octubre del 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno.

Gaytan

Villafuerte

Angel

56 22 89 89

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Biología

405008113

2. Datos del tutor

Dra.

Léia

Akcelrad

Lerner

3. Datos del Asesor Interno

Dr.

David Nahum

Espinosa

Organista

4. Datos del sinodal 1

M. en C.

Balbina

Vázquez

Benítez

5. Datos del sinodal 2

Biól.

Genaro

Montaño

Arias

6. Datos del sinodal 3

Dra.

Eva

Aguirre

Hernández

7. Datos del trabajo escrito

Distribución, riqueza y diversidad de los nopales silvestres, *Opuntia* Mill. y *Nopalea* Salm-Dyck, en la república Mexicana.

Agradecimientos

A la Dra. Léia Scheinvar por permitirme formar parte de su gran equipo, por darme todo su apoyo, consejos, enseñanzas y por mostrarme el interesante mundo de las cactáceas.

Al Dr. David Espinosa por aceptar ser mi asesor interno, por escucharme y brindarme su ayuda, consejos e ideas y por explicarme las cosas de una manera que todo parece ser muy sencillo.

Al Dr. Clemente Gallegos jefe de la Red Nopal por confiar en mí, por todos sus consejos, su hospitalidad, su ayuda, motivación y principalmente por brindarme su amistad, por ser una persona muy humana y buen amigo.

A la UNAM y a la FES Zaragoza por ser mi *ALMA MATER*, por formarme como profesional y hacerme una persona crítica.

A SAGARPA-SINAREFI y a CONABIO por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo.

A Miguel Linaje y Patricia Illoldi por estar siempre dispuestos a aclararme dudas sobre Sistemas de Información Geográfica.

A la Biól Beatriz Martínez Rosales por revisar mi anteproyecto aportar valiosas observaciones.

A la Dra. Socorro Orozco por dejarme trabajar en su laboratorio durante un año y enseñarme lo fascinantes que son las semillas.

A mis sinodales: Biól. Genaro Montaña Arias, M. en C. Balbina Vázquez Benítez y Dra. Eva Aguirre Hernández, por ocupar un poco de su tiempo en la revisión de este trabajo y aportar valiosas observaciones que enriquecieron la tesis.

A los que trabajan o trabajaron en el laboratorio de Cactología: Abril, Alex, Elia, Dulce, Cesar, Paty, Libertad, Roberto, Daniel, Miriam, Gabriel, Melba, Marlene, Claudia, Roberto y Violeta.

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a **Antonia Villafuerte** y **Floriberto Gaytan**, mis padres, por darme la educación necesaria para defenderme en la vida y hacerme comprender que la belleza no reside en lo que puedas crear, sino en lo que eres capaz de transmitir, por enseñarme que el amor es incondicional para lo bueno y lo malo, por enseñarme con sus actos que la vida es amor y finalmente por amarme, apoyarme, comprenderme, confiar en mi y mantenerme los últimos 26 años. Los amo!!!

Al mejor hermano que pude haber tenido **José Jesús** (mi chivito), por que a pesar de que en los últimos años ha sido muy dura nuestra relación “espero que mejore pronto”, nunca olvidare y siempre llevaré en mi corazón nuestra infancia y los momentos que hemos compartido juntos “han sido increíbles para mi”; por cuidarme siempre y resolver todo con golpes y groserías jajaja. Espero que pronto te alivianes. “Tu solo déjate querer ahora” porque si no, para cuando lo hagas no podre vivir lo suficiente para demostrarte cuanto te quiero, recuerda que te amo más que a mi.

A mis princesas **Fernanda** y **Yoselin**, por mostrarme cada día el jardín más hermoso jamás imaginado cada vez que abren sus lindos ojos, por que siempre me sacan una sonrisa y me hacen sentir como un niño. Por ser la luz que me alumbra y por enseñarme más de lo que les enseñare yo jamás. De ustedes he sacado fuerza para seguir adelante en momentos difíciles.

A **Fabis** y **Norma**, por aguantarme, por su fuerza y por formar parte mi familia.

A **Cindel**, por recoger los pedazos de mi alma y pegarlos con estabilidad, serenidad y amor, por ser mi dulcinea, mi musa, mi inspiración, la estrella que me guía y orienta, por su amor, paciencia y por ser donde mis frustraciones se convierten en alegría de vivir en paz y serenidad; por tener siempre una sonrisa y una palabra de apoyo. Te amo!!.

A mis amigos de la FES Zaragoza que están locos de atar y no son lo que un padre quiere para su hijita bebé, por tener una carrera que no es de porvenir (Biólogo).

A **Alex** (calvito), por su humor natural, por los sueños frustrados, por arriesgar la vida conmigo varias veces, por ser uno de mis mejores amigos y siempre serás alguien importante para mi.

A **Jorge** (el grande), por su ayuda y favores incondicionales, su amistad, su comprensión, sus consejos y por ser como de mi familia.

A **Tania** (Chaparrita), por ser como la hermana que no tengo, por hacer que me encante Silvio, por los golpes y todos los momentos chidos que hemos pasado. Te quiero!!.

A **Manuel** (Mamer), por esos tacos inolvidables del carboncito, por las veces que se ha enamorado y por ser... como eres.

A **Rene** (Charrascas), por su aliviane, por inculcarme el amor a las plantas y su necedad sobrenatural.

A **Juanito** (Pollo), por rockear durante horas en el guitar hero y formar una banda muy buena, por las fiestas y su amistad

A **Agustín**, por ser el gerente general, por el trabajo interminable, por sus consejos y las horas y horas de platica que hemos tenido.

A **Gaby, Stacy, Adrián** (Animal), **Víctor** (Chaparro), **Yesica** (Prángana), **Jesús** (Gayson), **Omar** (Bambuchas), **Richi, Betín, Nahum, Tonatiuh**. A la banda del CNCI **Víctor** (Cadáver), **Gere, Juan, Sandra** y **Víctor** (Mariguas); y a toda la gente que me faltó pero que la llevo en mi corazón, por ser amigos y compañeros de juergas, risas, penas y vivencias varias.

GRACIAS..... TOTALES

Contenido

RESUMEN	1
1. Introducción	2
2. Antecedentes	5
2.1. Generalidades de los nopales silvestres	5
2.2. Biodiversidad	7
2.3. Riqueza	8
2.4. Áreas Naturales Protegidas	9
2.5. Estudios sobre patrones de distribución, riqueza y diversidad en los nopales silvestres.....	11
3. Objetivos	13
3.1. Objetivo General	13
3.2. Objetivos Particulares	13
4. Material y Método	14
4.1. Obtención de la información	14
4.2. Distribución Geográfica.....	14
4.3. Patrones de diversidad y riqueza	15
4.4. Riqueza estimada.....	15
5. Resultados y discusión	17
5.1. Registros de las especies	17
5.2. Distribución, riqueza y diversidad por estado.....	22
5.3. Patrones de riqueza y distribución de los nopales silvestres mexicanos.....	78
5.4. Representatividad de los nopales silvestres en las ANP's.....	87
5.5. Riqueza Estimada.....	93
6. Conclusiones	96
7. Bibliografía	98
8. Anexos.....	105



RESUMEN

Los nopales son para México uno de los recursos de mayor relevancia en los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas que ocupan en la actualidad más de 60% de su territorio. Históricamente han sido de gran importancia ecológica, cultural, medicinal y económica en México, donde más de 40 especies entre silvestres y domesticadas son utilizadas por el hombre. En el Laboratorio de Cactología del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM se desarrolló el proyecto GE005 apoyado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, con el objetivo de contribuir al conocimiento de la biodiversidad de los nopales silvestres en la república Mexicana, así como proponer planes de conservación. Se elaboró una base de datos “Especies Silvestres de Nopales Mexicanos” con información taxonómica, geográfica y ecológica de 5716 ejemplares, de 93 especies silvestres de *Opuntia* y ocho de *Nopalea*. Con ayuda del Sistema de Información Geográfica (SIG) DIVA-GIS 7.1.7, se evaluó la distribución geográfica de los nopales silvestres para cada estado de la república Mexicana, se cuantificó el número de especies totales, endémicas, microendémicas (de distribución restringida), el número de ejemplares depositados en los herbarios revisados y la situación de las especies dentro de Áreas Naturales Protegidas. Para determinar los patrones de diversidad, se reticuló el país en cuadrículas de $\frac{1}{2}^{\circ}$ y 1° , para ambas escalas, se cuantificó el número de especies y registros por cada celda. Se identificaron las celdas con alta riqueza conocida, mayor a 20 especies. Con el software “Estimates 8.20” se calculó la riqueza estimada para ambas escalas, utilizando los métodos de estimación de riqueza no paramétricos ICE (“Incidence-based Coverage Estimator”) y Chao 2, los cuales se basan en datos de presencia ausencia de las especies por área. Los resultados obtenidos indican que la mayor diversidad se encuentra en el centro-norte y occidente del país, en los estados de: San Luis Potosí, Jalisco, Querétaro, Guanajuato, Hidalgo y Zacatecas. La zona de menor diversidad y colectada se localiza en la península de Yucatán. Los nopales silvestres tienen registro dentro de 47 Áreas Naturales Protegidas, donde la Reserva de la Biosfera “Sierra Gorda” es la más importante ya que alberga 30 especies. El rango promedio estimado de especies de nopales para el país, está entre 105 - 108 especies.



1. Introducción

México ostenta el privilegio de poseer en su territorio un universo vegetal de excepcional diversidad y significación. Tan afortunada circunstancia se manifiesta en múltiples formas y niveles de organización, entre los que destacan la gran biodiversidad, particularmente en las zonas áridas, solo comparable con Sudáfrica; además, también cuenta con un mosaico intrincado de elementos boreales y meridionales junto a elementos propios, que proporcionan una fisonomía característica del territorio mexicano (Rzedowski 1991a).

El término biodiversidad se refiere a la variabilidad de formas de vida; abarca tres niveles de expresión: ecosistemas, especies y genes. Esta diversidad se expresa en los diferentes tipos de ecosistemas, el número de especies, el cambio de riqueza de especies de una región a otra, el número de especies endémicas, las subespecies y/o variedades de una misma especie y es uno de los temas más importantes en la actualidad (CONABIO 1998). Su conocimiento es necesario en áreas como la ecología, la sistemática y la biogeografía. Además, la biodiversidad es crucial para entender la naturaleza. El conocimiento de la biodiversidad requiere de un estudio profundo de la riqueza, la abundancia relativa y distribución ecológica de la biota (Dirzo 1990, Navarro *et al.* 2003).

En la actualidad, uno de los problemas más graves a los que se enfrenta México, así como muchos otros países, principalmente en los trópicos, donde se concentra la mayor cantidad de recursos vegetales, es la acelerada destrucción de sus hábitats y la pérdida de especies. Se están perdiendo infinidad de recursos naturales e incrementando las zonas desertificadas y desafortunadamente, las nopaleras silvestres no son la excepción y se reducen cada vez más por actividades humanas, que sin tomar en cuenta daños ecológicos, han aniquilado praderas, bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, ya sea para el incremento de asentamientos humanos, cultivos de subsistencia, ganadería, creación de nuevas carreteras, construcción de presas, introducción de líneas eléctricas, etc., así como por el efecto del cambio climático que se acentúa cada vez mas. México alberga una enorme diversidad biológica, que lo coloca a nivel mundial, entre los países



megadiversos (Ramamoorthy *et al.* 1993) pero lamentablemente, muestra una alta tasa de deforestación que alcanza cerca del 5% anual y que aumenta el riesgo de una pronunciada pérdida de diversidad (Toledo *et al.* 1989). Ante esto, se necesitan elaborar estrategias de conservación para evitar o frenar la referida pérdida de la diversidad. Para ello se necesitan conocer los patrones de distribución y riqueza de las especies que habitan México, para poder planear su conservación, en este contexto los nopales silvestres son un recurso vegetal muy valioso para el país, donde más de 40 especies silvestres y domesticadas presentan algún uso (Hegwood 1990; Alarcón *et al.* 1993). Así mismo, Rodríguez y Nava (1998) reportan más de 20 usos para los nopales, entre los que sobresalen alimento, medicina y forraje, por lo tanto necesitan estudios que muestren como están distribuidos, que zonas tienen mayor número de especies ya que en la actualidad son muy pocas las nopaleras silvestres existentes en el país y si se quieren preservar estos recursos para las futuras generaciones, también se deberán tomar en cuenta estos análisis para definir zonas prioritarias para la conservación.

México es el país con mayor diversidad de cactáceas en el mundo. Las cactáceas son una familia endémica del continente Americano, distribuida desde Canadá hasta la Patagonia, la cual comprende entre 1500 y 2000 especies (Bravo y Scheinvar 1999). Esta familia comprende cuatro subfamilias: Pereskioideae, Opuntioideae, Cactoideae y Maihuenioideae (Leuenberger 1997; Parfitt y Gibson 2003). La subfamilia Pereskioideae es la única que presenta hojas laminares algo suculentas, no presentan glóquidas y sus semillas son lenticulares, negras y blandas; la subfamilia Opuntioideae, a la cual pertenecen los nopales, presenta glóquidas o gloquídeos (ahuates, en náhuatl) y semillas lenticulares envueltas en un arilo esclerenquimatoso o pétreo; la subfamilia Maihuenioideae presenta espinas aplanadas y semillas lenticulares, envueltas en un arilo blando, (Kiesling y Ferrari 2005); la subfamilia Cactoideae no presenta hojas laminares, ni glóquidas, y las semillas no son lenticulares ni pétreas y no presentan arilo.

Los nopales pertenecen a los géneros *Opuntia* Mill. y *Nopalea* Salm-Dyck, Históricamente han sido de gran importancia cultural, alimenticia, medicinal y



económica en México, lo que se puede observar en la iconografía de la gran Tenochtitlan o el escudo nacional (Bravo y Scheinvar 1999). Los nopales son para México uno de los recursos vegetales de mayor relevancia en los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas, presentes en más del 60% de su territorio. Desempeñan una importante función ecológica, ya que son refugio para numerosas especies animales (Scheinvar *et al.* 2010) y poseen bacterias nitrificantes (Llovera 1985) asociadas a sus raíces actuando en la formación, retención y enriquecimiento del suelo; son utilizados en la medicina, la alimentación humana y animal, pues la cantidad de su fibra cruda, proteínas, sales, minerales, y otras sustancias digestibles, hacen de éstos un alimento de alta calidad nutricional (Hegwood 1990; Alarcón *et al.* 1993). A pesar de todo esto, los nopales han sido poco estudiados con relación a su distribución y riqueza; y están pobremente representados en los herbarios, en parte, por la dificultad para herborizarlos (Clover 1952; Baker *et al.* 1985; Leuenberger 1987).

En el laboratorio de Cactología del Jardín Botánico del IB-UNAM, se desarrolla el proyecto: “Nopales Silvestres Mexicanos” (GE005 CONABIO IB-UNAM), cuyo objetivo principal es contribuir al conocimiento de la biodiversidad de los nopales silvestres en la Republica Mexicana, para así elaborar propuestas de conservación *in-situ* y *ex-situ*. Se ha creado una base de datos “Especies Silvestres de Nopales Mexicanos” (ESNM) que forma parte del Sistema Nacional de Inventarios Bióticos (SNIB-CONABIO) y publicada en línea en la pagina web (<http://www.unibio.unam.>), la cual contiene información taxonómica, ecológica y geográfica obtenida de la revisión de 39 herbarios mexicanos, tres extranjeros (Anexo 1) y extenso trabajo de campo. Hasta el momento se han anexado 5587 registros, de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, considerando 101 *taxa*, correspondientes a 93 especies de *Opuntia* y ocho de *Nopalea* (Anexo 2). En este trabajo se discuten los patrones de distribución y riqueza de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* en México, así como la distribución, riqueza y endemismos en cada estado de la Republica Mexicana, también se determinan zonas de alta riqueza, la situación de las especies de nopales silvestres en las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y la riqueza estimada para México.

2. Antecedentes

2.1. Generalidades de los nopales silvestres

Las cactáceas pertenecen a la clase Magnoliopsida, subclase Caryophyllidae, orden Caryophyllales (Cronquist 1981). Esta familia agrupa a plantas suculentas que poseen pigmentos nitrogenados (betalaínas) y aréolas que son áreas meristemáticas de donde nacen espinas, glóquidas, pelos, fieltro, lana, cerdas, otras ramas y flores. A pesar de no ser exclusivas de zonas áridas, las cactáceas son plantas que han experimentado modificaciones profundas exitosas, para adaptarse al medio seco (Cronquist 1981). Tienen metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC), sus estomas sólo abren durante la noche para evitar la evapotranspiración, aunque realizan los cambios metabólicos en presencia del sol, absorbiendo la humedad atmosférica nocturna (rocío) y exudando el exceso de agua al suelo (Bravo y Scheinvar 1999). La forma de las cactáceas con sus costillas o tubérculos también disminuyen la evapotranspiración. Sus hojas se han modificado en espinas con el mismo objetivo, disminuyen la temperatura del tallo y son adaptaciones contra depredadores (Bravo 1978).

Existen dos centros principales de diversidad de especies, el sudamericano, que se encuentra en los Andes, zona árida de Perú, Chile y Argentina y otro en Norteamérica, ubicado en la región centro-norte de México, extendiéndose hasta el SW de E.U.A. Otros centros de diversificación de cactáceas están en el E de Brasil y en la región SE de México, donde se distribuye un importante grupo de especies epífitas de zonas húmedas (Barthlot y Hunt 1993; Hernández y Godínez 1994; Hernández y Bárcenas 1995, 1996). Se encuentran en mayor abundancia en zonas áridas y semiáridas, pero también se distribuyen en regiones templadas, como bosque de pino y encino (como epífitas), bosques mesófilos de montaña, bosques tropicales caducifolios, matorrales xerófilos y pastizales (Bárcenas 1999). No se han registrado hasta la fecha fósiles de cactáceas, lo que no permite asegurar la fecha y lugar de origen, pero se sabe la fecha en que aparecieron plantas con betalaínas, lo que ocurrió a fines del Terciario e inicios del Cuaternario, después de la separación de los continentes Americano y Africano (Takhtajan 1969).



México es el país con mayor diversidad de cactáceas en el mundo, debido a la convergencia de dos reinos biogeográficos: el Holártico y el Neotropical, posee diferentes tipos de suelo, altitudes muy variables, y condiciones climáticas áridas y semiáridas, lo que determina una gran biodiversidad en la flora y fauna (Scheinvar 2004). Bravo (1978) reconoce para toda la familia 91 géneros y en México 66, de los cuales 30 son endémicos; con 894 especies y 283 variedades. Hernández y Godínez (1994) y Bárcenas (1999) reconocen para México un total de 48 géneros y 563 especies. Aunado a esto, consideramos a Megaméxico I (México y S de los Estados Unidos de América, con el desierto Chihuahuense) (Rzedowski 1991b), como la unidad fitogeográfica que contiene el mayor índice de endemismos de la familia Cactaceae, con un 73% a nivel genérico y un 78% a nivel específico (Hernández y Godínez 1994).

La familia ha tenido grandes cambios taxonómicos, de acuerdo con el criterio de los cactólogos dedicados a elaborar monografías. Gibson *et al.* (1986) calcularon la existencia de aproximadamente 11,000 binomios y 400 nombres genéricos para la familia, mientras que Hunt (1991) señala que cerca del 50% de los 7,000 nombres publicados a nivel específico para las cactáceas carecen de tipo nomenclatural.

La mayoría de las especies, descritas por aficionados, tienen gran número de sinónimos, ya que dan nuevos nombres a especies ya descritas. Así mismo, la situación de los herbarios donde se depositan ejemplares de las especies descritas en la literatura presentan serios problemas: son incompletos, no presentan flores, frutos y/o semillas y no exhiben la variación que se observa en el campo. Las etiquetas de los ejemplares en la mayoría de los casos no tienen datos georreferenciados o tienen información incompleta o errónea (Hernández y Godínez 1994).

El género *Opuntia* fue descrito por Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708), antes de que Linneo publicara *Species Plantarum* en 1753. Posteriormente a la obra de Linneo, donde las especies de *Opuntia* son tratadas dentro del género *Cactus*, este nombre fue retomado por Phillip Miller en 1754, quien describió las

especies de *Opuntia* conocidas y es considerado como autor del género (Scheinvar *Et al.* 2009), reúne las especies que tienen el androceo y gineceo incluidos en el perianto, dialitépalo, generalmente con flores amarillas, a veces rojas, polinizadas por insectos. El género *Nopalea* fue descrito y propuesto por Salm-Dyck en 1850 y aceptado por Bravo (1978), donde separa a los nopales que presentan perianto tubuloso, órganos sexuales exsertos, flores rojas o anaranjadas, polinizados por colibríes, granos de polen con transición entre poros y colpos. Estudios recientes de DNA de cloroplasto en nopales indican que existen diferencias entre *Opuntia* y *Nopalea* (Wallace y Dickie 2002), por lo que Scheinvar *et al.* (2010) y en el presente trabajo se acepta *Nopalea* como un género válido.

Bravo (1978) reconoce en el subgénero *Opuntia*, 73 especies y 43 variedades, así como diez especies dudosas o poco estudiadas; de éstas, dos especies son cultivadas: *Opuntia amarilla* Griffiths y *O. ficus-indica* (L.) Mill. En el género *Nopalea*, reconoce diez especies, una cultivada: *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck, por lo que en total serían 133 *taxa* silvestres de nopales.

2.2. Biodiversidad

La diversidad biológica o biodiversidad es la variedad de vida que se encuentra distribuida en todo el planeta, como resultado de procesos evolutivos que se manifiestan en la existencia de los diferentes seres vivos (Gaston 2000).

La biodiversidad no se distribuye de manera homogénea en el planeta, sino que se concentra principalmente en las regiones tropicales y si se toma como indicador para comparar la diversidad biológica entre países, se encontraría que un grupo reducido de éstos tienen representado hasta el 70% de las especies conocidas en el planeta. A estos países se les ha denominado megadiversos y México se encuentra entre ellos junto con Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, República del Congo, Madagascar, Sudáfrica, China, India, Filipinas, Indonesia, Malasia, Papua Nueva Guinea, Australia y Estados Unidos (Mittermeier y Mittermeier 1997).



La alta diversidad biológica de México se debe, entre otros factores, a su compleja topografía, diversos tipos de suelo, variaciones altimétricas, su situación latitudinal, con relación a los cinturones de viento y los regímenes térmicos de las corrientes marinas. Esto hace que el país contenga prácticamente todos los grupos y subgrupos de climas existentes y que se presenten variaciones de climas secos a húmedos en distancias de pocos kilómetros (CONABIO 1998).

México posee cerca del 10% de la biodiversidad mundial en cuanto a plantas vasculares y vertebrados se refiere, ocupando los primeros lugares en todas las listas de diversidad biológica. Ejemplo de esto es que nuestro país ocupa el primer lugar en reptiles, segundo en mamíferos y cuarto en anfibios y plantas vasculares (Mittermeier y Mittermeier, 1992).

Al ser México un país megadiverso, se debería proteger la permanencia de las especies existentes en su territorio. Los recursos naturales son patrimonio de la nación que los posee y, por ello, los mexicanos deberíamos ser los primeros interesados en su protección; no es viable ni deseable el crecimiento económico que se basa en la depredación de los recursos naturales, por lo que es necesario conciliar desarrollo y medio ambiente (Sarukhán y Dirzo 1992).

2.3. Riqueza

Las formas convencionales de medir y entender la diversidad biológica en la ciencia han consistido en la presencia de especies (riqueza), su abundancia relativa o equitatividad y la mezcla de estos dos conceptos (Magurran 1988). Dentro de estos índices el más utilizado es el de la riqueza de especies, el cual consiste en la suma del número de especies que habitan en un determinado sitio. Este concepto es una primera aproximación a las posibles interacciones que se encuentran en el sitio y por lo tanto, un indicador de la complejidad del sistema (Erwin 1991). Existen además diferentes corrientes filosóficas dentro de la ecología que tienden a utilizar ciertos índices o favorecer el desarrollo de nuevos modelos a diferentes escalas y con distintos grupos de especies, para describir en dónde encontramos la

mayor diversidad (el componente ecológico), cuál es la diversidad específica: riqueza local (diversidad alfa) y cuánto de reemplazan unas especies por otras (diversidad beta). Posiblemente el estudio de patrones macroecológicos, para analizar la biodiversidad a mayor escala, es una de las vertientes más actuales y apasionantes para utilizar las enormes bases de datos, producto de las colecciones científicas estudiadas, con el objetivo de explorar patrones, por ejemplo, cuáles son las zonas de mayor diversidad biológica (Golubov *et al.* 2005).

Para conocer la riqueza específica de un área o sitio determinado, necesitamos contar con un censo de especies. Sin embargo, como generalmente no se cuenta con el inventario completo de un sitio o área determinada y lo que se tiene son solamente muestreos, resulta indispensable recurrir al modelado, con la finalidad de obtener un valor estimado de la riqueza real del sitio (Colin *et al.* 2006). Entre los tipos de modelos existentes están las funciones de acumulación de especies y los métodos estadísticos no paramétricos. Es en este último grupo de modelos donde se encuentra el Chao 2, la base sobre la que se construye el estimador de cobertura basado en la incidencia ICE (en inglés, “Incidence-based Coverage Estimator”) (Smith y van Belle 1984; Colwell y Coddington 1994).

Villaseñor *et al.* (2005) señalan que el estimador de cobertura basado en incidencia (ICE) es un estimador no paramétrico; es decir, no supone ningún tipo de distribución, ni se ajusta a un modelo determinado. Adicionalmente, este estimador solamente requiere datos de presencia y se basa en el conjunto de especies raras.

2.4. Áreas Naturales Protegidas

La amplia diversidad biológica que existe en México, es una de sus mayores riquezas y representa un gran reto en cuanto a conservación se refiere. En el mundo se han creado áreas naturales sujetas a regímenes especiales de protección. Técnicamente, estas áreas son proporciones del planeta en las que el ambiente original no ha sido perturbado intensamente por la acción del hombre (Vélez 1991).



En México, las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) han estado sujetas a problemas e indecisiones a lo largo de su historia. Hasta 1991, existían en nuestro país gran número de categorías de ANP's, cuya nomenclatura, formas de manejo y objetivos, eran confusos y al mismo tiempo padecían deficiencias que las descartaban como tales (Vélez 1991).

La presión demográfica, urbanización, industrialización, contaminación, prácticas inadecuadas de uso del suelo, turismo mal planificado, falta de conciencia y educación ambiental, inadecuada legislación, falta de planeación y de recursos económicos, son causas que han llevado a que la mayor parte de las ANP's se encuentren en condiciones precarias. Sin embargo, a pesar de estos impedimentos, algunas cuentan con el mínimo para operar sustentablemente (Vélez 1991).

En la actualidad el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANP) se encarga de regir, establecer y proteger a la biota de nuestro país y constituye un reconocimiento de que las ANP's están cumpliendo con los objetivos para los cuales fueron creadas, y por lo tanto están contribuyendo a conservar la biodiversidad en el ámbito nacional; además, también se encarga de las Regiones Terrestres Prioritarias para la conservación (RTP) (Arriaga *et al.* 2000), zonas que aún no cuentan con un decreto de protección (www.conanp.gob.mx).

Asimismo, con la publicación del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (2003) (LGEEPA) en materia de ANP's, se establecieron los criterios para incorporar al registro del SINANP, a aquellas áreas que presentan especial relevancia en algunas de las siguientes características: riqueza de especies, presencia de endemismos, especies en riesgo y de distribución restringida, diferencia de especies con respecto a otras ANP's previamente incorporadas al SINANP, diversidad de ecosistemas relictuales y de distribución restringida, presencia de fenómenos naturales o frágiles, integridad funcional de los ecosistemas, importancia de los servicios ambientales generados y viabilidad social para su conservación (www.conanp.gob.mx).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), administra actualmente 174 áreas naturales de carácter federal, que representan más de 25 millones de hectáreas catalogadas en seis categorías (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Número de ANP's por cada categoría (Fuente: www.conanp.gob.mx).

Número de ANP's	Categoría	Superficie en hectáreas	Porcentaje de la superficie del territorio nacional
41	Reservas de la Biosfera	12,652,787	6.44
67	Parques Nacionales	1,482,489	0.75
5	Monumentos Naturales	16,268	0.01
8	Áreas de Protección de Recursos Naturales	4,440,078	2.26
35	Áreas de Protección de Flora y Fauna	6,646,942	3.38
18	Santuarios	146,254	0.07
174		25,384,818	12.92

2.5. Estudios sobre patrones de distribución, riqueza y diversidad en los nopales silvestres

Se han realizado trabajos relacionados con la diversidad y distribución de la familia Cactaceae en áreas de la República Mexicana, como el desierto Chihuahuense (Hernández y Bárcenas 1995) donde estudiaron los patrones de distribución de cactáceas amenazadas en dicha área. El estudio consistió en la evaluación de la distribución geográfica de 93 especies de cactáceas amenazadas. La región del desierto Chihuahuense fue dividida en 255 cuadrantes de $\frac{1}{2}^{\circ}$ de latitud y longitud, calculándose la frecuencia de especies para cada uno de los cuadros. De esta manera, lograron ubicar los cuadrantes vulnerables por poseer mayor riqueza de especies amenazadas, estos están localizados en los márgenes SE del desierto Chihuahuense, seguidos por los cuadrantes al E de la región, en el N de San Luis Potosí y S de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.



Gómez (1998) realizó una investigación sobre la diversidad, distribución y abundancia de cactáceas para la región de Mier y Noriega, que se ubica en los límites de San Luis Potosí, Tamaulipas y Nuevo León, donde reporta 13 especies de nopales silvestres.

Bárcenas (1999) identificó zonas de alta riqueza de cactáceas en la porción central de México, dividiendo al estado de Guanajuato en 20 cuadrantes, de $\frac{1}{2}^{\circ}$ de latitud y longitud, para el estado reporta 18 especies del género *Opuntia*.

Hasta el momento nadie había abordado la totalidad de la diversidad del género a ninguna escala geográfica, posiblemente por los problemas taxonómicos asociados a los géneros *Opuntia* y *Nopalea*.

Golubov *et al.* (2005), realizaron un trabajo a escala nacional, de los géneros *Opuntia* y *Agave*. A partir de los mapas de distribución potencial de cada especie de estos géneros, calcularon la diversidad alfa y beta para todas las celdas en que se reticuló el territorio mexicano. Encontraron la mayor diversidad del género *Opuntia* en los desiertos del N e identificaron seis ecorregiones, en las cuales se encuentra la mayor diversidad alfa y beta para los dos géneros.

Olvera (2009), hizo un estudio en el estado de Chihuahua para determinar la diversidad de especies de nopales silvestres, así como evaluar su abundancia relativa, refiriendo 19 especies de *Opuntia* y una de *Nopalea*.



3. Objetivos

3.1. Objetivo General

A partir de la base de datos ESNM, evaluar la distribución geográfica, la diversidad y riqueza de especies de nopales silvestres para cada estado de la República Mexicana y reconocer sus problemas de su conservación.

3.2. Objetivos Particulares

- Conocer la distribución geográfica de los nopales silvestres, géneros *Opuntia* Mill. y *Nopalea* Salm-Dyck, en México
- Identificar las especies raras o microendémicas en cada estado.
- Evaluar las especies ubicadas en ANP's
- Calcular la diversidad alfa (riqueza específica) de las especies de los nopales silvestres en México.
- Identificar zonas con alta riqueza de especies silvestres.
- Calcular la riqueza estimada de especies de los nopales silvestres, en México.
- Proponer medidas de protección de los nopales silvestres mexicanos.

4. Material y Método

4.1. Obtención de la información

A partir de revisiones de 39 herbarios mexicanos, tres extranjeros (Anexo 1) y extenso trabajo de campo en varios estados de la República Mexicana, se ha elaborado en el Laboratorio de Cactología del Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM una base de datos en el software Biótica 4.5 nombrada “Especies Silvestres de Nopales Mexicanos” (ESNM).

A esta base de datos se le realizó una consulta con la finalidad de obtener la información taxonómica y geográfica asociada a los registros de las especies de *Opuntia* y *Nopalea*, necesarios para el análisis propuesto.

Se eliminaron los registros pertenecientes a una misma especie y que tenían las mismas coordenadas geográficas, para evitar obtener resultados erróneos al repetir información de un mismo individuo.

Los *taxa* establecidos en la base de datos ESNM fueron determinados mediante la asesoría de especialistas en el género, teniendo como base los tratamientos taxonómicos de: González (1929), Benson (1969; 1982), Bravo (1978), Weniger (1984), Parfitt y Pinkava (1988), Pinkava (1996; 2002), Paredes *et al.* (2000), Anderson (2001), González *et al.* (2001), Guzmán *et al.* (2003), Parfitt y Gibson (2003), Hunt (2006), y Scheinvar *et al.* (2009). Con esto se pudo tener una lista de las especies presentes en el País.

4.2. Distribución Geográfica

El análisis espacial de la distribución geográfica por estado se realizó con el Sistema de Información Geográfica (SIG) DIVA-GIS 7.1.7 (Hijmans 2009). Para cada estado de la República Mexicana se realizó un mapa de distribución geográfica conocida. A un mapa del territorio nacional, escala de 1:1,000,000 (CONABIO 2005), se le superpusieron los registros de las especies, el mapa de Áreas Naturales Protegidas (CONANP 2007) y el de vegetación potencial (Rzedowski 1990).

En estos mapas se evaluó la distribución geográfica de los nopales silvestres y se cuantificaron los siguientes datos:

- A) La cantidad de ejemplares capturados en la base de datos ESNM.
- B) La riqueza de especies en cada estado.
- C) La cantidad de especies endémicas y microendémicas basadas en Scheinvar *et al.* (2010) (Anexo 3) para cada estado así como el porcentaje con relación al país y al propio estado
- D) El número de especies dentro de cada ANP.

4.3. Patrones de diversidad y riqueza

Se dividió la República Mexicana en cuadrículas, con celdas de 1° y de $\frac{1}{2}^\circ$ de latitud y longitud y los registros de las especies debidamente georreferenciadas se sobrepusieron a cada cuadrícula.

Para cada una estas unidades (celdas) de ambas escalas, se contabilizó el número de ejemplares registrados y el número de especies (riqueza específica).

Los valores obtenidos fueron representados en mapas (Figuras 34 y 35), con el objetivo de observar gráficamente los patrones de diversidad y riqueza.

Una vez obtenidos los valores de riqueza específica para cada celda de las dos escalas utilizadas, se determinaron los sitios de alta riqueza de especies para la escala de $\frac{1}{2}^\circ$, tomando como criterio, cuadrantes con un número de especies superior a 20 (Figura 36).

4.4. Riqueza estimada

La riqueza estimada para el país se calculó para cada celda de ambas escalas, con los índices no paramétricos: ICE y Chao 2 corregido, que requieren solamente datos de presencia-ausencia y vienen integrados dentro del “software” “Estimates 8.20” (Colwell 2005), el cual se ha empleado eficientemente para



estimar la riqueza de especies de un área a partir de matrices de incidencia de especies en muestras. Ambos estimadores permiten analizar y sintetizar grandes cantidades de datos, que difícilmente se podrían analizar de otra manera. Además, toman en cuenta el sesgo que tienen las bases de datos biológicas, donde se encuentran especies que son muy comunes (con muchos registros) y otras que son muy raras (con uno o pocos registros). Al igual que otros estimadores de riqueza no paramétricos, los estimadores ICE y Chao 2 corregido se basan en el conjunto de especies raras. De hecho, la estimación se obtiene evaluando principalmente al conjunto de especies registradas con 10 o menos recolectas en una localidad o área determinada, es decir, las mas raras de la zona de estudio (Villaseñor *et al.* 2005).

Siguiendo las recomendaciones de Escalante *et al.*, (2002) para el uso de Estimates, se realizaron matrices de presencia-ausencia para dos escalas de regionalización: las cuadrículas de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ y $\frac{1}{2}^{\circ} \times \frac{1}{2}^{\circ}$. Cada matriz de incidencia fue probada con los estimadores no paramétricos ICE y Chao 2 corregido, y 100 aleatorizaciones sin reemplazo. Finalmente, los resultados obtenidos fueron graficados (Figuras 39 y 40).

5. Resultados y discusión

5.1. Registros de las especies

Se hizo la revisión de la base de datos “Especies silvestres de nopales mexicanos” (ESNM) con 5587 registros de ejemplares, procedentes de 39 colecciones de herbarios nacionales y tres extranjeros (Anexo 1).

Después de eliminar duplicados y verificar la georreferenciación de los ejemplares, los datos se redujeron aproximadamente un 27.3%, quedando un total de 4061 registros referentes a 101 especies de nopales silvestres (93 de *Opuntia* y ocho de *Nopalea*) que representan el 100% de las especies conocidas (Anexo 2).

Las especies mejor representadas en la base de datos fueron: *Opuntia cantabrigiensis*, con 257 registros (6.08%), *O. engelmannii*, con 226 registros (5.57%) y *O. stenopetala*, con 187 registros (4.60%). Con menor número de registros hubo dos especies: *O. grandis* y *O. pottsi* con tres registros (0.07%); con dos registros (0.05%) hay seis especies: *O. basilaris*, *O. chaffeyi*, *O. chiangiana*, *O. guatemalensis*, *O. pailana* y *O. pyriformis*; y ocho especies con un registro (0.02%): *O. affinis*, *O. fragilis*, *O. howeyi*, *O. humifusa*, *O. nejpensis*, *O. olmeca*, *O. x occidentalis* y *O. x spinosibacca*.

El uso de datos de ejemplares de colecciones en prácticas de conservación ha sido muy discutido. Incluso para los *taxa* mas conocidos, el uso de estos datos aun ha sido restringido, y las criticas mas importantes abarcan la subestimación de las áreas de distribución de las especies a partir de los puntos de recolecta En cuanto a los registros, en la figura 1 se observa un marcado sesgo de recolecta hacia la derecha, que corresponde a un escaso esfuerzo de recolecta para la mayoría de especies y a una recolecta excesiva dirigida a unas pocas especies (cuadro 2). Esto puede explicarse por varios factores: (1) Existen un gran número de especies raras, por esta situación es mas difícil encontrarlas en campo y por lo tanto tienen muy pocos registros en los herbarios. (2) Existe una sobreexploración en lugares cercanos a los centros de investigación debido a la poca cantidad de

recursos económicos y humanos que se invierten para las salidas a campo, esto trae como consecuencia que se recolecten siempre las mismas especies, pero a medida que otras regiones más alejadas se exploren, se podría hacer más equitativo el número de ejemplares colectados por especie. (3) Hay especies que tienen una distribución geográfica más amplia y una gran abundancia, por lo tanto han sido más recolectadas. Debido a estos factores se debe aumentar el trabajo de recolecta e investigación de las especies poco estudiadas, principalmente a endémicas y microendémicas que son las que tienen menor cantidad de registros en esta base de datos.

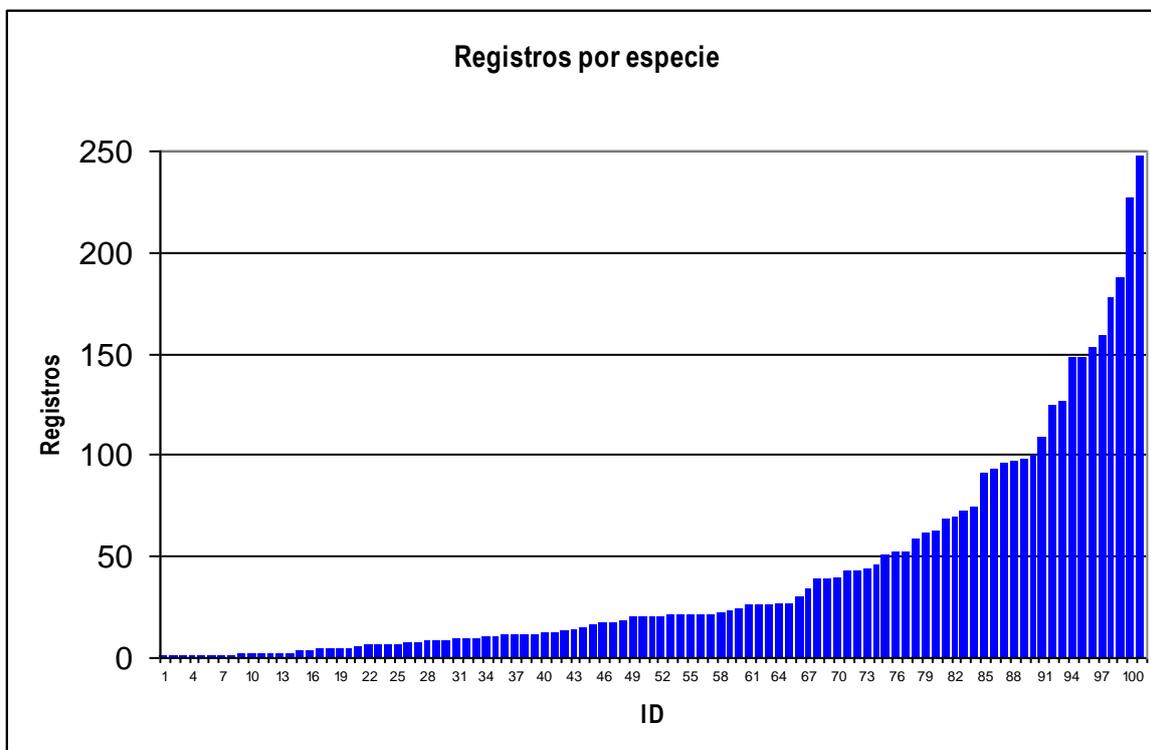


Figura 1. Gráfica de registros por especie (los números de cada ID corresponde a las especies referidas en el cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de registros y su equivalencia en porcentaje de cada especie analizada.

ID	ESPECIE	REG.	%	ID	ESPECIE	REG.	%
1	<i>Opuntia affinis</i>	1	0.025	52	<i>O. santa-rita</i>	20	0.492
2	<i>O. fragilis</i>	1	0.025	53	<i>Nopalea inaperta</i>	21	0.517
3	<i>O. howeyi</i>	1	0.025	54	<i>N. karwinskiana</i>	21	0.517
4	<i>O. humifusa</i>	1	0.025	55	<i>N. nuda</i>	21	0.517
5	<i>O. nejapensis</i>	1	0.025	56	<i>O. huajuapensis</i>	21	0.517
6	<i>O. olmeca</i>	1	0.025	57	<i>O. sarca</i>	21	0.517
7	<i>O. x occidentalis</i>	1	0.025	58	<i>O. spinulifera</i>	22	0.542
8	<i>O. x spinosibacca</i>	1	0.025	59	<i>O. gosseliniana</i>	23	0.566



Continua							
9	<i>Opuntia basilaris</i>	2	0.049	60	<i>O. robinsonii</i>	24	0.591
10	<i>O. chaffeyi</i>	2	0.049	61	<i>O. cochineria</i>	26	0.640
11	<i>O. chiangiiana</i>	2	0.049	62	<i>O. guerrana</i>	26	0.640
12	<i>O. guatemalensis</i>	2	0.049	63	<i>O. matudae</i>	26	0.640
13	<i>O. pailana</i>	2	0.049	64	<i>O. larreyi</i>	27	0.665
14	<i>O. pyriformis</i>	2	0.049	65	<i>O. wilcoxii</i>	27	0.665
15	<i>O. grandis</i>	3	0.074	66	<i>O. spraguei</i>	30	0.739
16	<i>O. pottsii</i>	3	0.074	67	<i>O. chlorotica</i>	33	0.813
17	<i>O. elizondoana</i>	4	0.098	68	<i>O. depressa</i>	38	0.936
18	<i>O. lagunae</i>	4	0.098	69	<i>O. pachona</i>	38	0.936
19	<i>O. oricola</i>	4	0.098	70	<i>N. auberi</i>	39	0.960
20	<i>O. scheeri</i>	4	0.098	71	<i>O. durangensis</i>	42	1.034
21	<i>Nopalea lutea</i>	5	0.123	72	<i>O. pumila</i>	42	1.034
22	<i>N. esquinclensis</i>	6	0.148	73	<i>O. excelsa</i>	43	1.059
23	<i>O. hitchcocki</i>	6	0.148	74	<i>O. pilifera</i>	45	1.108
25	<i>O. polyacantha</i>	6	0.148	76	<i>N. dejecta</i>	52	1.280
26	<i>O. macdougaliana</i>	7	0.172	77	<i>O. chavena</i>	52	1.280
27	<i>O. tehuacana</i>	7	0.172	78	<i>O. megacantha</i>	58	1.428
28	<i>O. cretochaeta</i>	8	0.197	79	<i>N. gaumeri</i>	61	1.502
29	<i>O. incarnadilla</i>	8	0.197	80	<i>O. joconostle</i>	62	1.527
30	<i>O. macrorhiza</i>	8	0.197	81	<i>O. decumbens</i>	68	1.674
31	<i>O. bensonii</i>	9	0.222	82	<i>O. velutina</i>	69	1.699
32	<i>O. bravoana</i>	9	0.222	83	<i>O. pubescens</i>	72	1.773
33	<i>O. pycnantha</i>	9	0.222	84	<i>O. hyptiacantha</i>	74	1.822
34	<i>O. nigrita</i>	10	0.246	85	<i>O. rastrera</i>	91	2.241
35	<i>O. x andersonii</i>	10	0.246	86	<i>O. macrocentra</i>	93	2.290
36	<i>O. megarhiza</i>	11	0.271	87	<i>O. atropes</i>	95	2.339
37	<i>O. pachyrhiza</i>	11	0.271	88	<i>O. phaeacantha</i>	96	2.364
38	<i>O. rileyi</i>	11	0.271	89	<i>O. leucotricha</i>	97	2.389
40	<i>O. atrispina</i>	12	0.295	91	<i>O. tomentosa</i>	108	2.659
41	<i>O. azurea</i>	12	0.295	92	<i>O. lasiacantha</i>	124	3.053
42	<i>O. tapona</i>	13	0.320	93	<i>O. puberula</i>	126	3.103
43	<i>O. undulata</i>	14	0.345	94	<i>O. robusta</i>	148	3.644
44	<i>O. aciculata</i>	15	0.369	95	<i>O. streptacantha</i>	148	3.644
45	<i>O. glaucescens</i>	16	0.394	96	<i>O. microdasys</i>	153	3.768
46	<i>O. heliabravoana</i>	17	0.419	97	<i>O. fuliginosa</i>	158	3.891
47	<i>O. maxonii</i>	17	0.419	98	<i>O. icterica</i>	177	4.359
48	<i>O. zamudioi</i>	18	0.443	99	<i>O. stenopetala</i>	187	4.605
49	<i>O. feroacantha</i>	20	0.492	100	<i>O. engelmannii</i>	226	5.565
50	<i>O. littoralis</i>	20	0.492	101	<i>O. cantabrigiensis</i>	247	6.082
51	<i>O. oligacantha</i>	20	0.492				

En el país se encuentran tres especies consideradas bajo alguna categoría de riesgo de acuerdo a la NOM-059-Ecol-2001 (SEMARNAT 2002); (Pr) Especie sujeta a protección especial = tres *taxa*: *Opuntia bravoana*, microendémica de la península de Baja California; *O. excelsa*, endémica de la costa del Pacífico de Guerrero hasta Nayarit y *O. arenaria*, que se consideraba como especie, hasta que Pinkava (2002)

la reconoció como variedad de *Opuntia polyacantha*, con lo que concordamos porque las variedades *Opuntia polyacantha* var. *arenaria* y *O. polyacantha* var. *Polyacantha* son muy semejantes; sólo diferenciándose en que la primera tiene rizomas y la segunda no. Esta especie es de gran abundancia y amplia distribución en E.U.A., llegando a encontrarse hasta Canadá (Benson 1982), pero en México, se restringe a una franja en el norte de Sonora, Chihuahua y Coahuila, y su protección es necesaria para no perderla en estado silvestres ya que su hábitat está limitado a zonas arenosas, en particular dunas de arena entre los matorrales abiertos del desierto Chihuahuense y en México son relativamente escasas (Olvera 2009).

En relación con las especies de nopales silvestres mexicanos, la Organización Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN), considera tres especies dentro de alguna categoría de riesgo, de acuerdo con su lista roja (2007), todas endémicas de México: *Opuntia chaffeyi*, especie en peligro crítico, microendémica del N de Zacatecas; *Opuntia megarrhiza*, especie en peligro, endémica de San Luis Potosí y *Opuntia pachyrrhiza*, especie vulnerable endémica de San Luis Potosí

La Convención sobre el Tráfico Internacional de Especies Silvestres de Flora y Fauna (CITES 2007), no incluye ninguna especie de *Opuntia* y/o *Nopalea* en el Apéndice I. Mantiene a todas las cactáceas no incluidas en el Apéndice I dentro del Apéndice II (incluye las especies que no necesariamente están amenazadas con la extinción, pero en las que el comercio debe de ser controlado para evitar un uso incompatible con su supervivencia).

Villaseñor *et al.* (2005) refieren que en la actualidad México carece de un programa nacional efectivo para la conservación de su alta riqueza biológica. Lo más cercano a este programa de conservación es la lista de especies en riesgo incluida en la NOM-059, que identifican aquellas especies que requieren programas de atención o rescate para evitar su extinción. Sin embargo, la NOM-059 solamente incluye unas 900 especies de plantas vasculares (eliminando sinonimias) de las cuales solamente tres de ellas son de nopales silvestres. En la



flora de México existen demasiados *taxa* endémicos y microendémicos con poblaciones muy reducidas que no han sido incluidos en la NOM-059, pero se les podrían aplicar estudios MER (Método de evaluación de riesgo de extinción de especies silvestres en México) para determinar factores de riesgo reales y potenciales para la especie o población y así asignarla a una categoría de riesgo de extinción dentro de la NOM-059. Muchas especies estarán en peligro en un futuro próximo, debido al impacto negativo de las actividades humanas y el cambio climático sobre sus ambientes naturales. Sin embargo, es imposible en la práctica llevar a cabo estrategias de manejo y conservación para cada especie, como se indica para las incluidas en la NOM-59. En este momento no se puede pensar en estrategias eficientes de conservación de nuestra biodiversidad si no se conoce mejor la riqueza de especies que están representadas en las áreas a manejar.



5.2. Distribución, riqueza y diversidad por estado

Cuadro 3. Número de registros, especies, endemismos, microendemismos y ANP's en cada estado de la república Mexicana ordenados de acuerdo a la superficie de cada estado.

Estado	Extension (km ²)*	No. Registros "ESNM"	No. Sp. totales	% del total de nopales silvestres	No. Sp. Opuntia	No. Sp. Nopalea	No. Sp. endémicas	No. Sp. microendémicas	% de endemismos con respecto al estado	% de endemismos con respecto al país	No. ANP's	ANP's con registro de nopales
D.F.	1485	37	16	15,8%	16	0	15	0	93,8%	19,5%	9	0
Tlax.	3991	43	19	18,8%	19	0	17	0	89,5%	22,1%	2	1
Mor.	4893	40	11	10,9%	10	1	8	0	72,7%	10,4%	5	2
Ags.	5618	82	22	21,8%	22	0	19	0	86,4%	24,7%	2	1
Col.	5625	30	11	10,9%	8	3	10	0	90,9%	13,0%	6	2
Qro.	11684	271	39	38,6%	37	2	33	0	84,6%	42,9%	3	2
Hgo.	20846	208	34	33,7%	34	0	32	0	94,1%	41,6%	5	3
Méx.	22357	116	26	25,7%	26	0	21	0	80,8%	27,3%	12	1
Tab.	24738	4	2	2,0%	2	0	0	0	0,0%	0,0%	1	0
Nay.	27815	63	18	17,8%	15	3	15	0	83,3%	19,5%	4	2
Gto.	30608	397	37	36,6%	37	0	32	0	86,5%	41,6%	1	1
Pue.	34290	130	27	26,7%	25	2	21	0	77,8%	27,3%	4	1
Yuc.	39612	86	5	5,0%	1	4	3	0	60,0%	3,9%	7	3
Q. Roo	42361	7	2	2,0%	1	1	0	0	0,0%	0,0%	15	1
Sin.	57377	84	14	13,9%	11	3	11	0	78,6%	14,3%	3	0
Camp.	57924	20	5	5,0%	2	3	3	0	60,0%	3,9%	3	2
Mich.	58643	120	20	19,8%	19	1	15	0	75,0%	19,5%	11	2
S.L.P.	60983	556	48	47,5%	46	2	36	0	75,0%	46,8%	5	1
Gro.	63621	107	15	14,9%	14	1	13	0	86,7%	16,9%	6	1



Continua

N.L.	64220	144	24	23,8%	24	0	16	0	66,7%	20,8%	3	0
B. C.	71446	58	11	10,9%	10	1	1	4	45,5%	6,5%	8	1
Ver.	71820	80	18	17,8%	16	2	14	0	77,8%	18,2%	5	2
Chis.	73289	49	12	11,9%	5	7	6	0	50,0%	7,8%	18	2
B.C.S.	73922	45	12	11,9%	12	0	2	4	50,0%	7,8%	7	4
Zac.	75539	120	32	31,7%	32	0	24	1	78,1%	32,5%	4	2
Jal.	78599	403	42	41,6%	39	3	32	0	76,2%	41,6%	11	6
Tam.	80175	179	39	38,6%	34	5	26	0	66,7%	33,8%	2	2
Oax.	93793	172	33	32,7%	26	7	23	2	75,8%	32,5%	7	2
Dgo.	123451	43	23	22,8%	22	1	16	0	69,6%	20,8%	3	2
Coah.	151563	153	21	20,8%	21	0	11	1	57,1%	15,6%	5	1
Son.	179503	87	22	21,8%	21	1	11	0	50,0%	14,3%	8	3
Chih.	247455	127	21	20,8%	20	1	8	0	38,1%	10,4%	8	2

*Fuente (INEGI 2010)



En México los nopales silvestres se distribuyen en todo el territorio nacional, muchas de las especies tienen en México amplia distribución, se encuentran en buenas condiciones y varias de ellas se ven beneficiadas por los animales que se alimentan de frutos y pencas vivas, ya que su poda promueve el crecimiento de nuevos cladodios y su reproducción vegetativa las hace especies de fácil propagación, varias especies, entre ellas las raras o microendémicas están vulnerables debido a que sus poblaciones son muy reducidas y al no ofrecer un recurso tangible para la población humana, no se les pone el cuidado que requieren.

El número de especies, registros, endemismos, microendemismos y ANP's en cada uno de los estados del país comparado con la superficie de cada estado se presenta en el cuadro 3

La mayoría de las entidades federativas registran una importante concentración de nopales silvestres. El estado con mayor número de especies es San Luis Potosí con 48 especies lo que equivale al 47.5% del total de nopales silvestres conocidos en México hasta ahora, también se trata del estado con el mayor número de colectas de campo con 556 registros asimismo es el estado con más especies del género *Opuntia* y más especies endémicas, pero su riqueza no está bien representada en las ANP's debido a la carencia de ellas en el estado; le sigue Jalisco con 42 especies y 403 registros, Querétaro con 39 especies y 271 registros, Tamaulipas con 39 especies y 179 registros y Guanajuato con 37 especies y 397 registros, los cuales son estados de tamaño mediano (entre el 0.6% y 4.1% del territorio mexicano) y se ubican en el centro N del país, donde los matorrales xerófilos son abundantes. Los estados con menos especies y registros son Campeche con cinco especies y 20 registros, Quintana Roo con dos especies y siete registros y Tabasco con dos especies y cuatro registros, los tres de tamaño mediano (entre el 1.3% y 3% del territorio mexicano), ubicados en el sureste del país, donde los matorrales xerófilos no son abundantes. Los estados más grandes: Chihuahua (12.6 % del territorio mexicano) con 21 especies y 127 registros, Sonora (9.2 % del territorio mexicano) con 22 especies y 87 registros y Coahuila (7.7 %) con 21 especies y 153 registros, no se encuentran entre los más diversos

del país; esto significa que no necesariamente la superficie del área condiciona la riqueza y diversidad de especies, y sí, el clima y el tipo de vegetación, y en algunos casos la cantidad de registros, principalmente en los estados que presentan condiciones idóneas para el establecimiento de los nopales, ya que al aumentar el esfuerzo de recolecta se observa claramente que también aumenta el número de especies. Los estados más pequeños como el Distrito Federal, Tlaxcala y Morelos presentan una riqueza similar, la mayoría de especies que albergan son endémicas y muchas las comparten debido a la cercanía de entre ellos.

Hay Estados como Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora que se recomendaría incrementar el esfuerzo de recolecta, dado que el número de registros actuales es muy bajo y las condiciones climáticas y ecológicas son favorables para el desarrollo de nopaleras silvestres por lo que se podrían encontrar especies aún no documentadas y por lo tanto elevar su riqueza de especies. Sin embargo para los estados con climas cálidos ubicados principalmente en la península de Yucatán, por las condiciones ambientales es poco probable que aunque se aumente la riqueza si se aumenta el esfuerzo de recolecta.

El conocimiento de la relación entre el esfuerzo de recolecta y la diversidad de especies es importante para evaluar la biodiversidad (Gibbs *et al.* 1984). Sin embargo, a pesar de la pobreza de datos en los herbarios, en pocas ocasiones se ha referido si el esfuerzo de recolecta es adecuado para reflejar la diversidad alfa de una región (Miller y Wiegert 1989). Por otra parte, se ha supuesto que el bajo esfuerzo de recolecta en una región indicaría el desconocimiento de la flora de dicha área.

En las figuras 2-33 se observa la distribución geográfica de los nopales silvestres en cada estado de la República Mexicana.

Aguascalientes

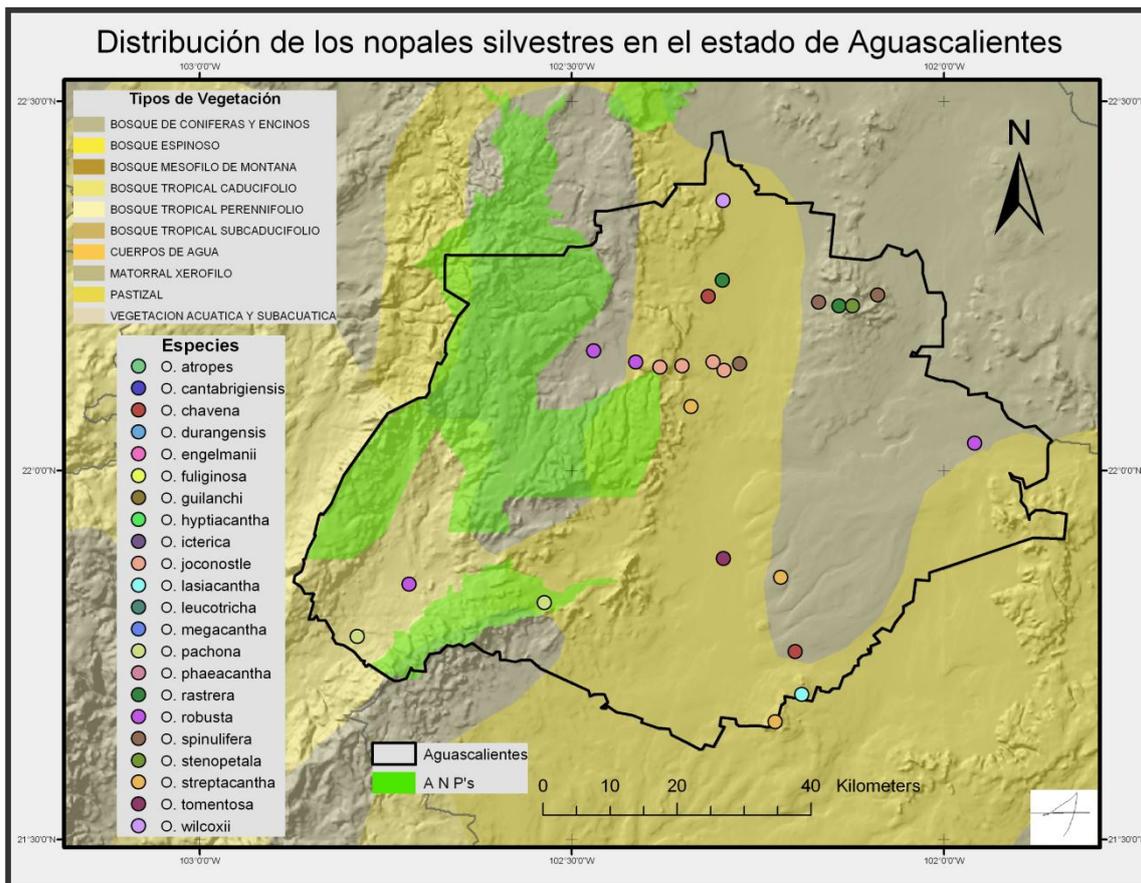


Figura 2. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Aguascalientes.

Aguascalientes tiene una extensión de 5618 km², ocupa el 29° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 0.3% del total del país (INEGI 2010). Cuenta con 82 registros en la base de datos “ESNM” de 22 especies del género *Opuntia* (21.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 19 son endémicas de México, lo que corresponde al 86.4% de endemismos en este estado y al 24.7% del total de especies endémicas de México.

Se observa una distribución marcada hacia el N y NE del estado donde el tipo de vegetación que predomina es el pastizal y matorral xerófilo (Rzedowski 1978); el ambiente está fragmentado por actividades antropogénicas (agricultura de riego y temporal), lo que ha causado que a través del tiempo se hayan perdido nopaleras silvestres que nunca fueron estudiadas y que seguramente tenían especies que en esta base de datos no están registradas. En el S del estado se muestran muy pocos



registros, lo que indica que hace falta llevar a cabo mayor esfuerzo de recolecta para tener un inventario más preciso de la riqueza.

Aguascalientes solo cuenta con dos ANP's al W, donde predomina el bosque de coníferas y el bosque tropical caducifolio, que quedan ubicadas en la Sierra Madre Occidental. En esta región no se observa una riqueza importante de nopales, solo la especie *Opuntia pachona* se encuentra relativamente protegida dentro del ANP que se denomina: "Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit".

Baja California



Figura 3. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Baja California.

Baja California tiene una extensión de 71,446 km², ocupa el 12° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.6% del total del país. Cuenta con 58 registros en la base de datos “ESNM” de 11 especies, 10 del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (10.9% del total de nopales silvestres), de las cuales cinco son endémicas de México, lo que corresponde al 45.5% de endemismos en este estado y al 6.5% del total de especies endémicas de México.

Cabe mencionar que el estado de Baja California tiene cuatro de las nueve especies microendémicas consideradas por Scheinvar *et al.* (2010) que hay en México: *Opuntia x occidentalis*, *O. tapona*, *O. bravoana* y *O. pycnantha* que se distribuyen solo en la península de Baja California.

La mayor distribución se marca hacia el N y NW del estado donde el tipo de vegetación que predomina es el matorral xerófilo, el clima varía de seco a muy seco



(García 1988; INEGI 1980) y en algunas partes bosque de coníferas como en la Sierra de San Pedro Mártir con un clima templado subhúmedo principalmente. En el S del estado se muestran muy pocos registros, lo que indica que hace falta llevar a cabo mayor esfuerzo de recolecta para tener un inventario más preciso de su riqueza.

Baja California cuenta con ocho ANP's que protegen principalmente el matorral xerófilo, las islas y archipiélagos, en menor medida el bosque de coníferas. No se observa riqueza alguna de nopales dentro de estas áreas comparada con la existente en el estado, solo se reconoce a las especies: *Opuntia pycnantha*, *O. phaeacantha*, *O. tapona*, *O. littoralis* y *Nopalea karwinskiana* dentro del ANP denominada "Valle de los Cirios".

Baja California Sur



Figura 4. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Baja California Sur.

Baja California Sur tiene una extensión de 73,922 km², ocupa el 9° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.8% del total del país. Cuenta con 45 registros en la base de datos “ESNM” de 12 especies del género *Opuntia* (11.9% de total de nopales silvestres), de las cuales seis son endémicas de México, lo que corresponde al 50% de endemismos en este estado y al 7.8% del total de especies endémicas en México.

Cabe mencionar que el estado tiene cuatro de las nueve especies microendémicas consideradas por Scheinvar *et al.* (2010) que tiene México: *Opuntia bravoana*, *O. tapona*, *O. lagunae* y *O. pycnantha* que se distribuyen solo en la península de Baja California.

La distribución se observa a todo lo largo del estado con una ligera tendencia al E, donde predomina el matorral xerófilo y el clima varía de seco a muy



seco, así como una zona al S, donde existen manchones de bosque tropical caducifolio y bosque de coníferas, con un clima templado subhúmedo; también se distribuyen en algunas islas del mar de Cortes. Hace falta realizar trabajo de campo en zonas como la costa del Pacífico y las Islas del Golfo de California, ya que prácticamente no existe registro alguno de nopales, aun cuando el tipo de vegetación que predomina es el matorral xerófilo.

Baja California Sur cuenta con siete ANP's donde la mas importante es "El Desierto del Vizcaíno", que es también la mas grande de México en cuanto a extensión. Tiene registradas cuatro especies de nopales silvestres: *Opuntia chlorotica*, *O. lagunae*, *O. littoralis* y *O. phaeacantha*. Otra ANP que tiene registros de nopales es "La Sierra la Laguna" en donde se encuentran cinco especies: *O. bravoana*, *O. chlorotica*, *O. lagunae*, *O. phaeacantha* y *O. tapona*; y las ANP's de "La Bahía de Loreto" y "Las Islas del Golfo de California" con una especie registrada: *O. tapona* y *O. bravoana* respectivamente.

Campeche

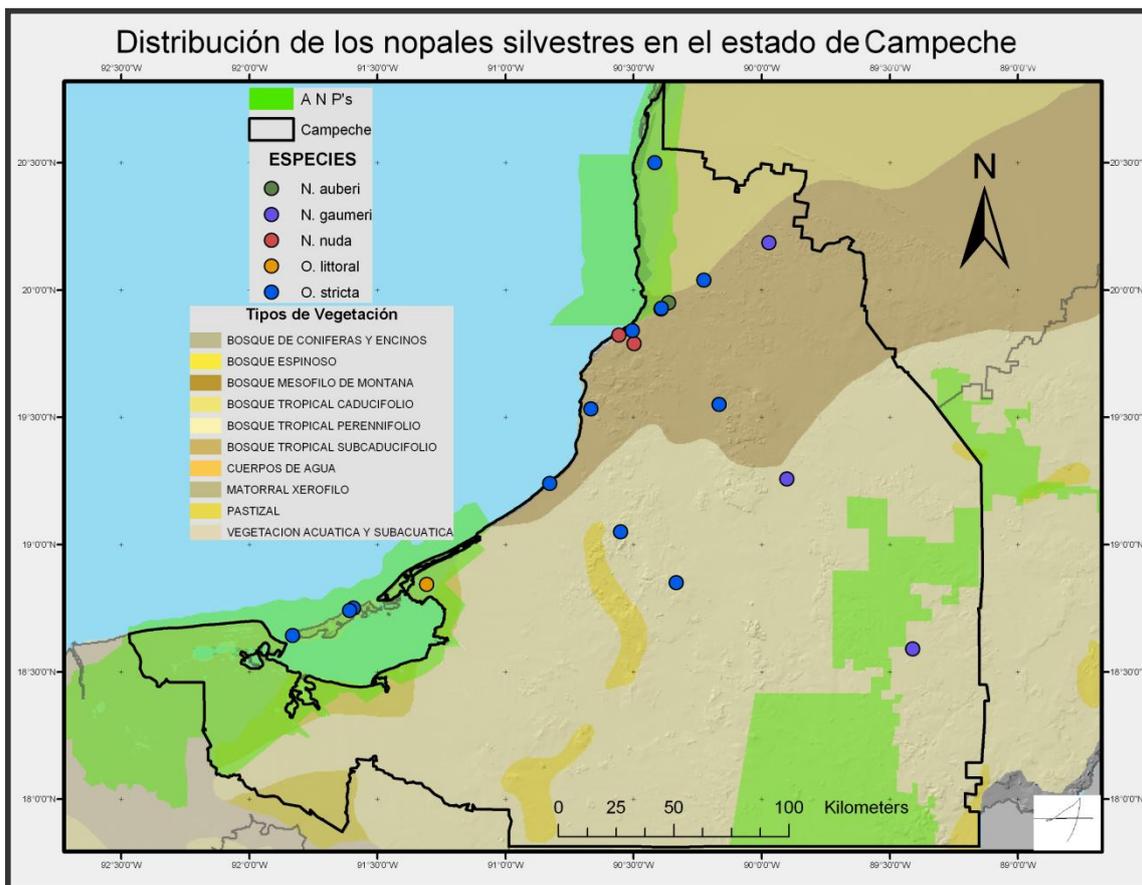


Figura 5. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Campeche.

Campeche tiene una extensión de 57,924 km², ocupa el 17° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3% del total del país. Cuenta con 20 registros en la base de datos "ESNM" de cinco especies, dos del género *Opuntia* y tres de *Nopalea* (5% del total de nopales silvestres), de las cuales tres son endémicas de México, lo que corresponde al 60% de endemismos en este estado y al 3.9% del total de especies endémicas de México.

Es importante mencionar que el estado tiene tres de las seis especies endémicas del género *Nopalea* (*Nopalea auberi*, *N. gaumeri* y *N. nuda*), consideradas por Scheinvar *et al.* (2010)

La distribución tiene una tendencia NE, donde predomina el bosque tropical subcaducifolio y el clima es cálido subhúmedo, así como en la zona costera, donde existen dunas con suelo salino donde se adaptan muy bien algunas especies de



nopales. En el centro del estado se observa una distribución menos marcada y dominada por *Opuntia stricta* ssp. *dillenii*, que ha podido adaptarse a las condiciones climáticas, ecológicas y edafológicas del bosque tropical perennifolio, a pesar de que estas condiciones no son las adecuadas para el desarrollo de la mayoría de los nopales.

Campeche solo cuenta con tres ANP's. La más importante en cuanto al resguardo de nopales silvestres, esta se localiza al W del estado llamada "Laguna de Términos", que resguarda dos especies de nopales silvestres: *O. littoralis* y *O. stricta*, que no son endémicas de México, sino por el contrario, se distribuyen a lo largo de casi todo el continente Americano; y la ANP "Los Petenes", que también resguarda a *O. stricta*. Hasta donde se sabe, no se observa ninguna especie de nopal dentro de la ANP restante.

Chiapas

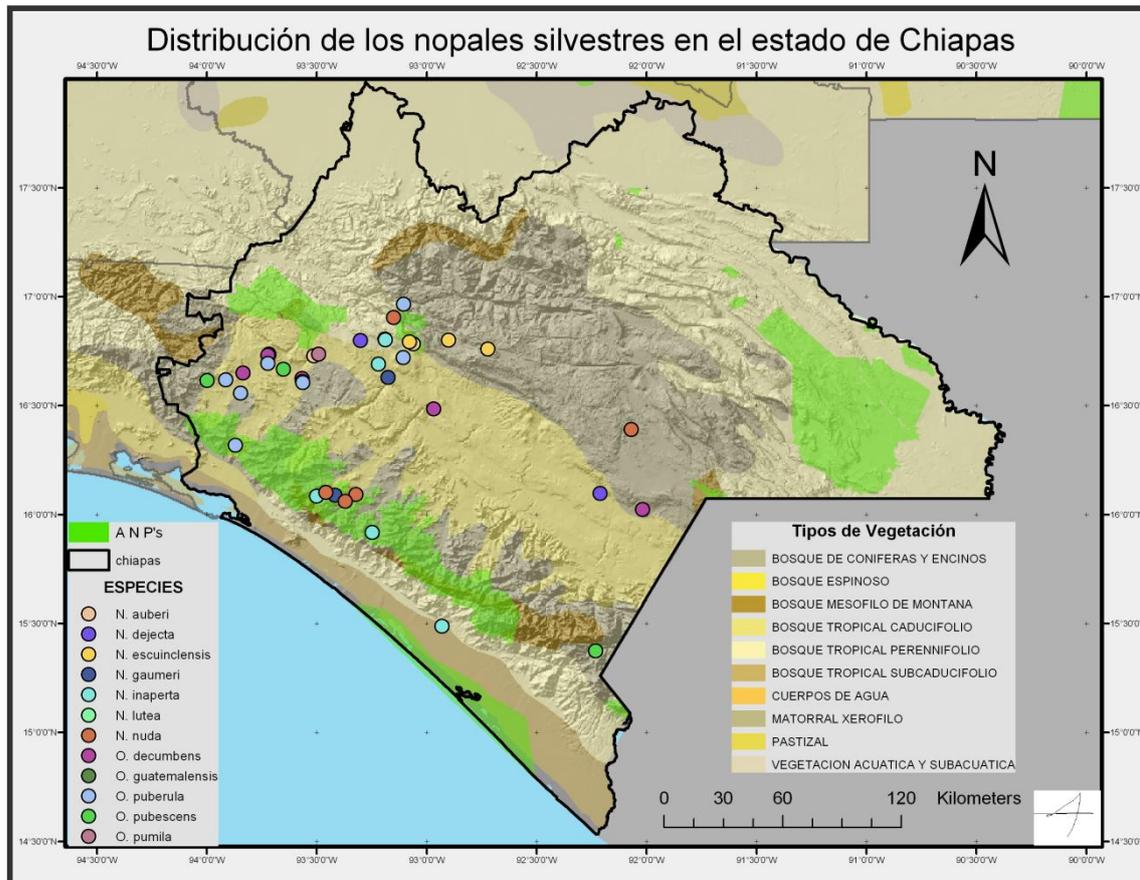


Figura 6. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Chiapas.

Chiapas tiene una extensión de 73,289km², ocupa el 10° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.7% del total del país. Cuenta con 49 registros en la base de datos “ESNM” de 12 especies, cinco del género *Opuntia* y siete de *Nopalea* (11.9% del total de nopales silvestres), de las cuales seis son endémicas de México, lo que corresponde al 50% de endemismos en este estado y al 7.8% del total de especies endémicas de México. Chiapas presenta la mayor riqueza de nopales silvestres del género *Nopalea*, posee siete de las ocho presentes en México y cinco de las seis endémicas registradas por Scheinvar *et al.* (2010) para México.

La distribución de los nopales silvestres mexicanos se concentra principalmente hacia la parte NW del estado, donde predomina el bosque tropical caducifolio y el clima es cálido subhúmedo. También se distribuyen algunas



especies un poco más al N dentro de bosque de coníferas en los Altos de Chiapas; y en una pequeña zona donde la vegetación que predomina es el bosque tropical perennifolio. Al S del estado en la zona del Soconusco, se observa que existen algunas especies de *Nopalea*, donde predomina el bosque de coníferas. En el NE, SW y la costa, no se observa una distribución importante de los nopales silvestres, debido al poco esfuerzo de colecta que se ha realizado a través del tiempo, así como al clima y vegetación que prevalece en la zona, no adecuados para el asentamiento de nopales.

Chiapas cuenta con 18 ANP's dentro de las cuales, "El Cañón del Sumidero" protege a tres especies: *Nopalea escuinclensis*, *N. auberi* y *N. nuda*, las dos últimas, endémicas de México. Al S del estado se encuentra el ANP "La Sepultura", protege el bosque de coníferas, así como a cinco especies de nopales: *N. escuintlensis*, *N. nuda*, *N. inaperta*, *N. gaumeri* y *O. puberula*, las tres primeras endémicas de México. En las restantes ANP's no está registrada ninguna especie de nopal.

Chihuahua

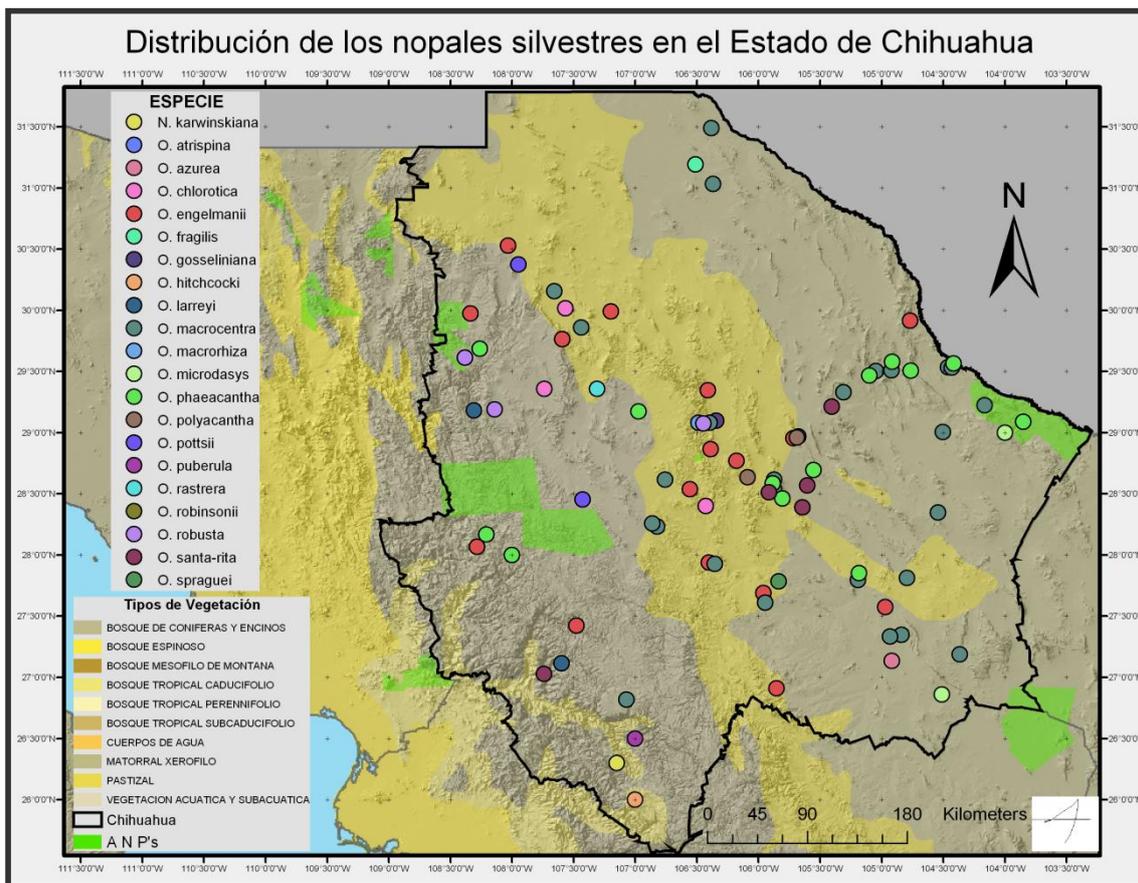


Figura 7. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Chihuahua.

Chihuahua tiene una extensión de 247,455km², ocupa el 1° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 12.6% del total del país. Cuenta con 127 registros en la base de datos “ESNM” de 21 especies: 20 del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (20.8% del total de nopales silvestres), de las cuales ocho son endémicas de México, lo que corresponde al 38.1% de endemismos en este estado y al 10.4% del total de especies endémicas de México.

Se observa la distribución de los nopales silvestres principalmente en la zona Centro, E y SE del estado, donde el tipo de vegetación que predomina es el matorral xerófilo y el pastizal; el clima varía de semiseco a muy seco. También presentan una distribución importante en el W y SW, donde el tipo de vegetación predominante es el bosque de coníferas y encinos, con clima templado subhúmedo y que forman parte de la Sierra Madre Occidental. Olvera (2009), publicó cinco especies de nopales que no habían sido registradas para Chihuahua al SW del



estado, en el municipio de Urique, de éstas, tres tienen amplia distribución en Sonora y Sinaloa: *Opuntia hitchcocki*, *O. robinsoni* y *O. spraguei*, colectadas en la zona limítrofe entre estos estados. En relación con la presencia de *O. puberula*, también distribuida en Sinaloa, tiene una distribución más amplia, abarca todo el litoral del Pacífico y una parte del Atlántico: Tamaulipas y el N de Veracruz. Se establece el primer registro para el género *Nopalea* en Chihuahua, *N. karwinskiana* tiene la distribución más amplia conocida, desde Oaxaca hasta Sonora, lo que explicaría el porqué de su presencia en Chihuahua, ya que Sonora tiene afinidades fitogeográficas con Chihuahua, y la zona de las barrancas tiene las condiciones ideales de temperatura y humedad para el establecimiento de esta especie (Olvera 2009). La zona al N del estado, pegada a la frontera con EUA, no muestra un número importante de registros de nopales silvestres, quizá debido al insuficiente esfuerzo de recolecta que se ha realizado hasta la fecha, ya que al ser el estado más grande del país y con los problemas de inseguridad que reinan en la zona, es difícil poder recorrer toda el área.

Chihuahua cuenta con ocho ANP's, de las cuales solo dos: "El Cañón de Santa Elena" resguarda seis especies: *Opuntia chlorotica*, *O. engelmannii*, *O. gosseliniana*, *O. macrocentra*, *O. microdasys* y *O. phaeacantha* y "La Cascada de Bassaseachic" que alberga dos especies *O. engelmannii* y *O. phaeacantha*, ninguna endémica, ya que se distribuyen ampliamente al S de E.U.A. Las ANP's restantes protegen principalmente el bosque de coníferas y encinos y no presentan ningún registro de nopales silvestres.

Coahuila

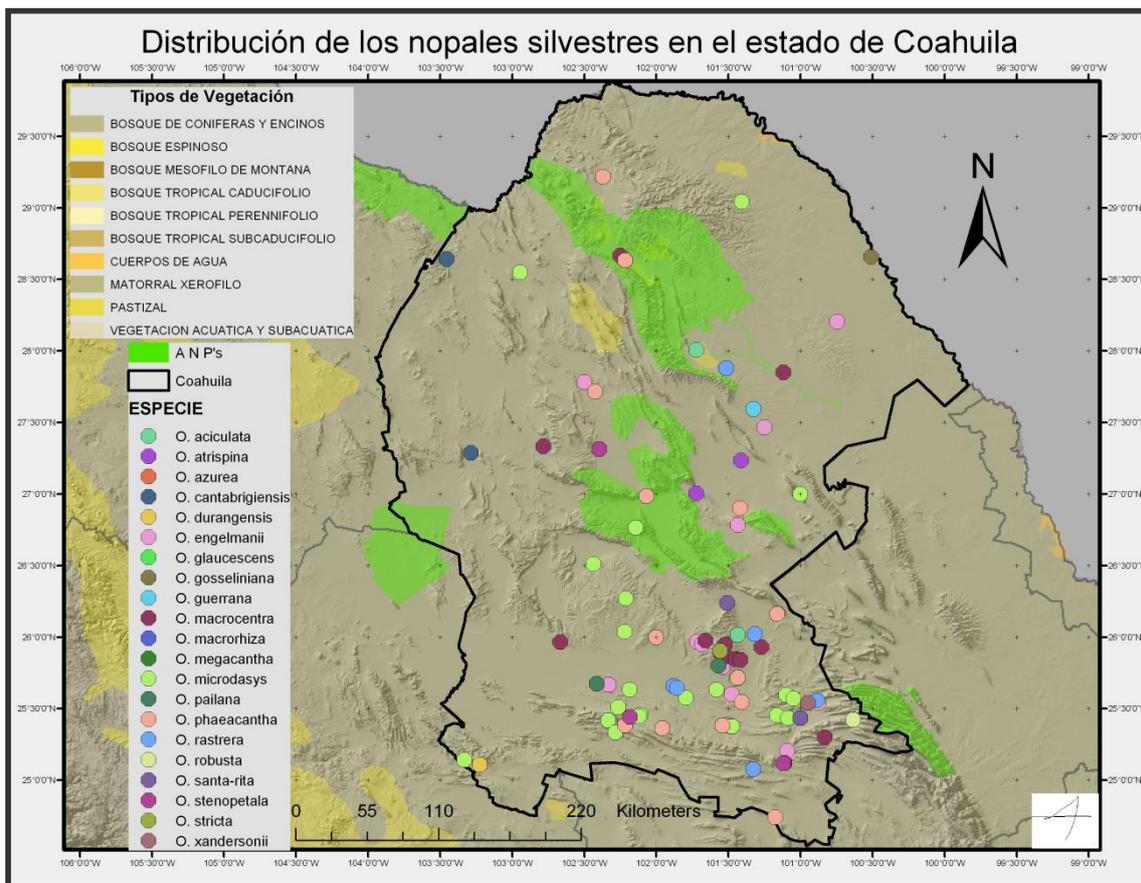


Figura 8. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Coahuila.

Coahuila tiene una extensión de 151,563km², ocupa el 3° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 7.7% del total del país. Cuenta con 153 registros en la base de datos "ESNM" de 21 especies del género *Opuntia* (20.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 12 son endémicas de México, lo que corresponde al 57.1% de endemismos en este estado y al 15.6% del total de especies endémicas de México. Este estado cuenta con una especie considerada por Scheinvar *et al.* (2010) como microendémica: *Opuntia pailana*, conocida exclusivamente en la Sierra de la Paila, al S del estado.

La distribución de los nopales silvestres, se concentra en el S y SE del estado, donde el tipo de vegetación que predomina es el matorral xerófilo y el clima va de semiseco a muy seco. En general, se observa que los nopales se distribuyen de manera muy amplia en todo el estado, pero hay zonas como en el

NE, toda la parte W y la zona fronteriza donde hace falta mucho trabajo de campo por realizar.

Coahuila cuenta con cinco ANP's, de las cuales solo una: "Cuenca alimentadora del distrito nacional de riego 004 Don Martín" resguarda seis especies: *Opuntia aciculata*, *O. engelmannii*, *O. macrocentra*, *O. phaeacantha*, *O. microdasys* y *O. macrorhiza*, solo la primera es endémica de México. Las ANP's restantes no tienen ningún registro de nopales silvestres y el principal tipo de vegetación que predomina es el matorral xerófilo, por lo que se supone que hace falta trabajo de campo.

Colima

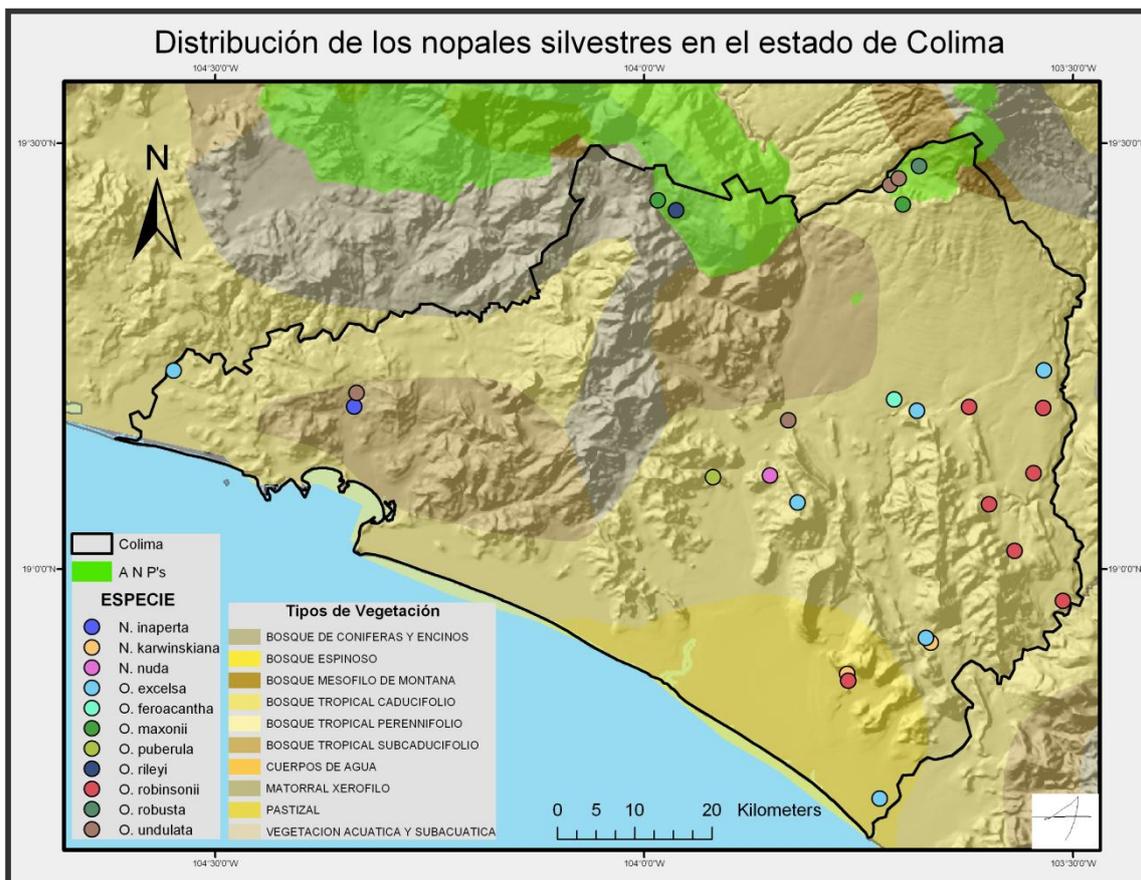


Figura 9. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Colima.

Colima tiene una extensión de 5,625Km², ocupa el 28° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 0.3% del total del país. Cuenta con 30 registros en la base de datos "ESNM" de 11 especies: ocho del género *Opuntia* y tres de *Nopalea*



(10.9% del total de nopales silvestres), de las cuales 10 son endémicas de México lo que corresponde al 90.9% de endemismos en este estado y 13% del total de especies endémicas de México.

La distribución tiene una marcada tendencia a concentrarse en la parte N, E y SE del estado donde abunda el bosque tropical caducifolio y el clima es cálido subhúmedo. En los bosques de coníferas localizados al NW de Colima, no hay riqueza significativa de nopales. El Centro, W y la Costa no tienen gran diversidad de especies, porque solo es dominante *Opuntia excelsa.*, especie arbórea de hasta 12 m de altura.

Colima cuenta con seis ANP's, donde dos de ellas resguardan una pequeña parte de la riqueza de nopales silvestres en el estado, en el N la denominada "El Jabalí" que alberga a *Opuntia robusta* y *O. undulada*; y al NW, compartida con Jalisco la llamada "Sierra de Manantlán" que resguarda a *Nopalea karwinskiana* y *O. rileyi*. Las ANP's restantes no tienen registro de nopales silvestres.

Distrito Federal

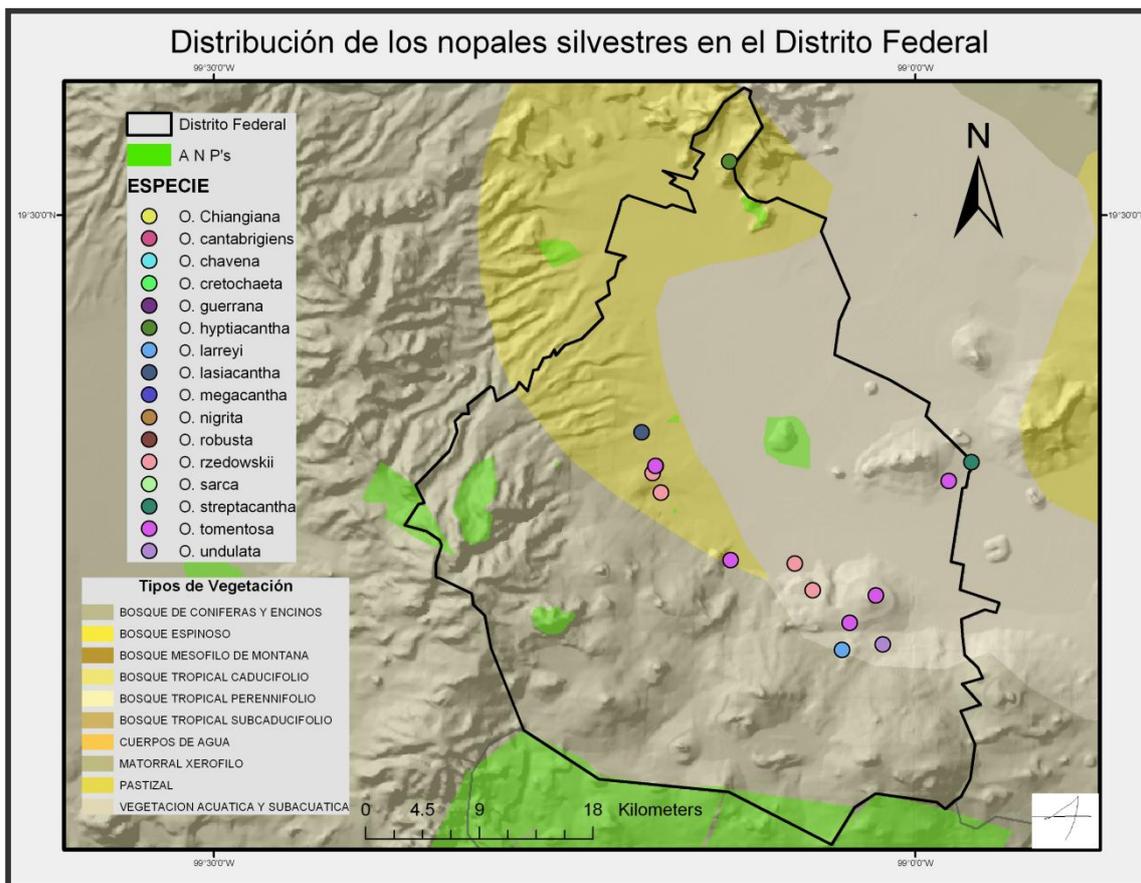


Figura 10. Distribución de los nopales silvestres en el Distrito Federal.

El Distrito Federal (DF) tiene una extensión de 1485 Km², ocupa el 32° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 0.1% del total del país. Cuenta con 37 registros en la base de datos “ESNM” de 16 especies del género *Opuntia* (15.8% de total de nopales silvestres), de las cuales 15 son endémicas de México, lo que corresponde al 93.8% de endemismos en este estado y al 19.5% del total de especies endémicas de México.

Toda la distribución de nopales silvestres se concentra al SE del DF, aunque se observan algunos registros al W y N, donde el clima predominante es el cálido subhúmedo. Esta zona del país es la más afectada por el cambio de uso de suelo, ya que la mancha urbana se ha extendido enormemente, arrasando con la mayoría de ecosistemas y fragmentado el hábitat de una manera descomunal. Las zonas que presentan registros son principalmente laderas, barrancas y partes de cerros que

no han sido todavía invadidos por asentamientos humanos, así como en una zona de reserva ecológica localizada al S de la capital perteneciente a la UNAM.

El DF cuenta con nueve ANP's Federales, en ninguna de ellas hay registros de nopales silvestres. Al S del DF, con tan solo 237 hectáreas, se localiza la "Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel", donde el tipo de vegetación que predomina es el matorral xerófilo y resguarda todas las especies de nopales silvestres registradas para el DF, es el único relicto de vegetación silvestre importante para los nopales en la ciudad de México.

Durango

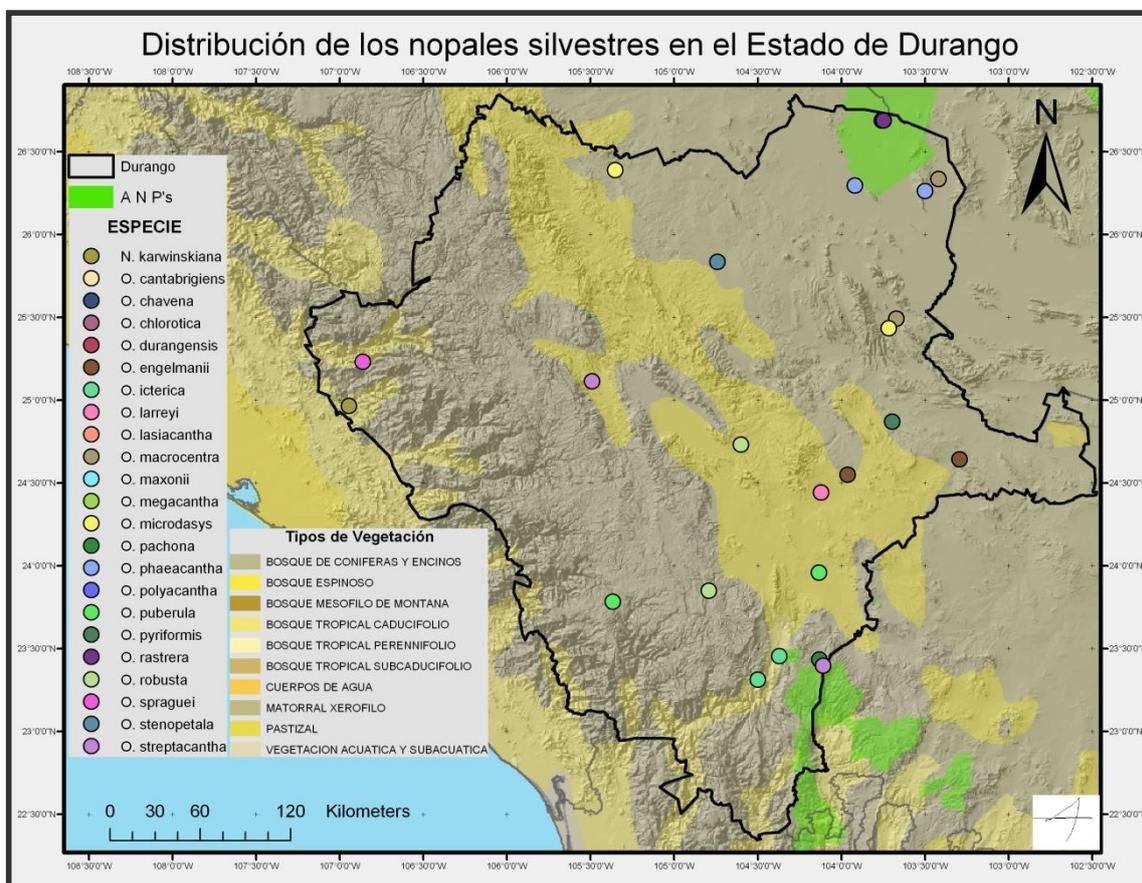


Figura 11. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Durango.

Durango tiene una extensión de 123,451km², ocupa el 4° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 6.3% del total del país. Cuenta con 43 registros en la base de datos "ESNM" de 23 especies: 22 del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (22.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 16 son endémicas

de México, lo que corresponde al 69.6% de endemismos en este estado y al 20.8% del total de especies endémicas de México.

La distribución se concentra en el S, E y NE del estado donde predomina el pastizal y el matorral xerófilo con clima que va de semiseco a muy seco y que forman parte de dos provincias fisiográficas: la Mesa del Centro y las sierras y llanuras del Norte. En la parte W del estado, que pertenece a la Sierra Madre Occidental, no se presenta una diversidad sobresaliente por haber principalmente bosques de coníferas que no son muy adecuados para el desarrollo de la mayoría de los nopales; también hay una zona de bosque tropical caducifolio en los límites con Sinaloa y no se observa una distribución geográfica amplia, quizá debido al poco esfuerzo de recolecta y/o al difícil acceso para transitar por lo accidentado de la zona. Durango es uno de los estados que por sus condiciones topográficas y la gran heterogeneidad del terreno, se esperaba encontrar una gran diversidad de nopales, pero no es así posiblemente debido al poco trabajo florístico que se ha hecho.

Durango cuenta con tres ANP's, de las cuales la denominada "Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit", al S del estado y que comparte con Aguascalientes, Jalisco Nayarit y Zacatecas, resguardan a dos especies de nopales silvestres con amplia distribución en el país: *Opuntia megacantha* y *O. streptacantha*; y la reserva de la biosfera "Mapimi" donde se encuentran seis especies: *O. engelmannii*, *O. macrocentra*, *O. microdasys*, *O. phaeacantha*, *O. polyacantha* y *O. rastrera*.

Guanajuato

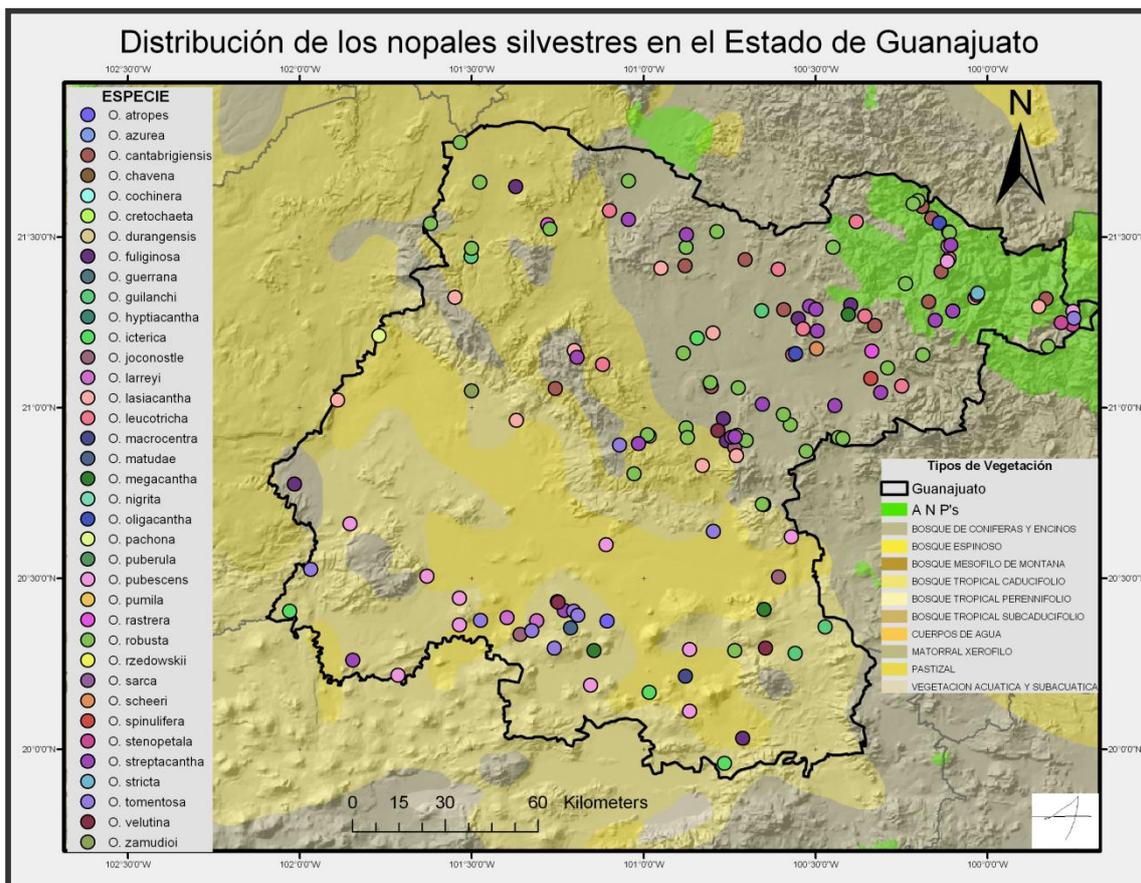


Figura 12. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Guanajuato.

Guanajuato tiene una extensión de 30,608km², ocupa el 22° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 1.6% del total del país. Cuenta con 397 registros en la base de datos “ESNM” de 37 especies del género *Opuntia* (36.6% de total de nopales silvestres), de las cuales 32 son endémicas de México, lo que corresponde al 86.5% de endemismos en este estado y al 41.6% del total de especies endémicas de México.

Se observa que aunque en todo el estado se distribuyen los nopales silvestres, existe una tendencia de distribución hacia el NE que forma parte de la Mesa del Centro y una porción de la Sierra Madre Oriental, en donde la vegetación es principalmente matorral xerófilo y el clima es seco y semiseco; en menores cantidades hay registros en bosques de coníferas y encinos, donde el clima es templado subhúmedo. La parte S del estado, que pertenece al Eje Neovolcánico Transmexicano, presenta una distribución importante de nopales silvestres, donde



la vegetación que predomina es el bosque tropical caducifolio y el clima es cálido subhúmedo. El centro del estado, aunque presenta una riqueza importante en nopales, es una zona muy fragmentada por la introducción de pastizales secundarios para el ganado, así como por la agricultura de riego y de temporal y es probable que las nopaleras hayan desaparecido o estén en proceso de destrucción.

Guanajuato solo cuenta con una ANP, denominada “Sierra Gorda de Guanajuato” y aunque protege principalmente zonas serranas donde predominan los bosques de coníferas y encinos, también contiene algunas planicies donde predomina el matorral xerófilo. Dentro de esta ANP se distribuyen 15 especies de nopales silvestres: *Opuntia cantabrigiensis*, *O. fuliginosa*, *O. icterica*, *O. joconostle*, *O. larreyi*, *O. lasiacantha*, *O. leucotricha*, *O. oligacantha*, *O. puberula*, *O. pubescens*, *O. robusta*, *O. stenopetala*, *O. streptacantha*, *O. stricta* y *O. tomentosa*.

Guerrero



Guerrero tiene una extensión de 63,621km², ocupa el 14° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.2% del total del país. Cuenta con 107 registros en la base de datos “ESNM” de 15 especies: 14 del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (14.9% del total de nopales silvestres), de las cuales 13 son endémicas de México, lo que corresponde al 86.7% de endemismos en este estado y al 19.9% del total de especies endémicas de México.

Se observa la distribución geográfica marcada en el centro del estado (depresión del Balsas) y a lo largo de la costa, donde abunda el bosque tropical caducifolio y el clima es cálido subhúmedo. En el E y W del estado se observan muy pocos registros de nopales, quizá debido al pequeño esfuerzo de recolecta. Guerrero es un estado muy heterogéneo y su topografía es muy accidentada, lo que dificulta llegar a muchas zonas para colectar, además hay problemas políticos conflictivos que dificultan el trabajo de campo.

Guerrero cuenta con seis ANP's de las cuales solo "El Veladero", ubicada en la costa, tiene registrada a *Opuntia puberula* en su interior; de las restantes ANP's ninguna tiene registros de nopales silvestres mexicanos, quizá por la falta de trabajo de campo.

Hidalgo

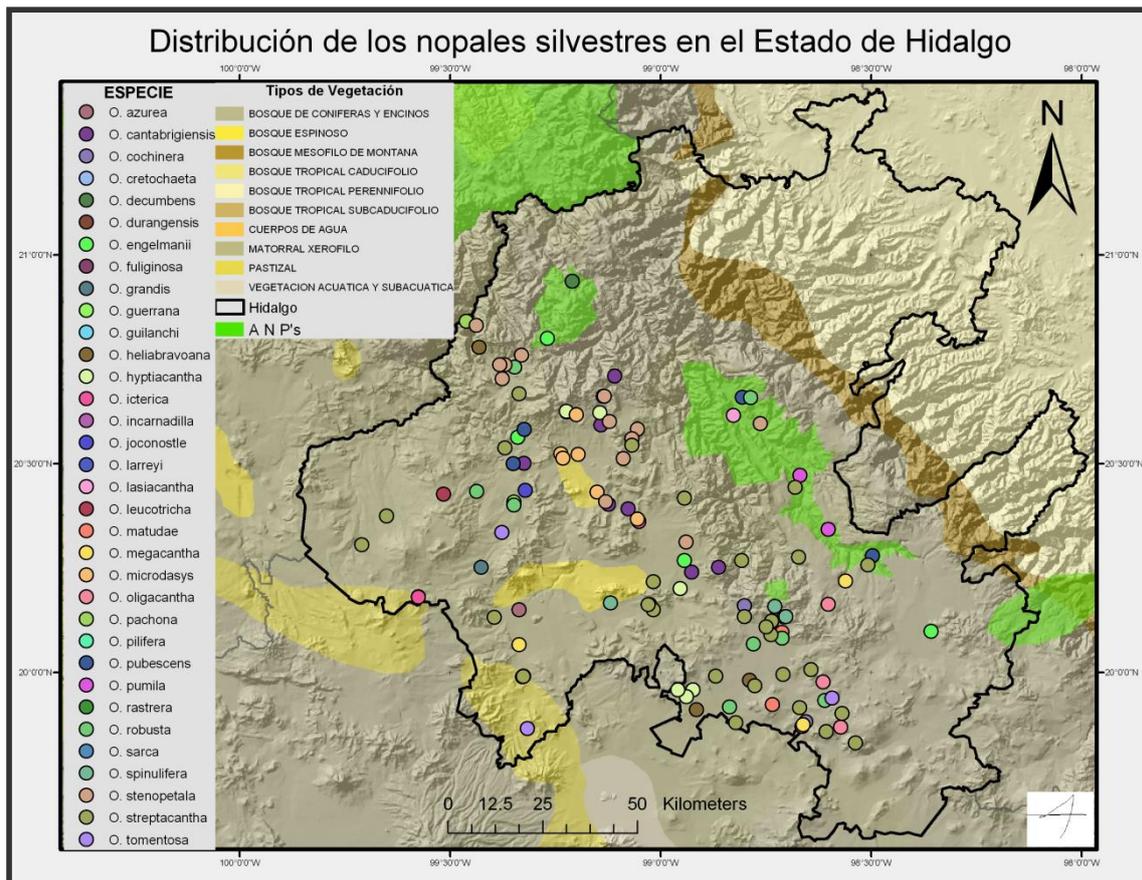


Figura 14. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Hidalgo.

Hidalgo tiene una extensión de 20,846km², ocupa el 26° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 1.1% del total del país. Cuenta con 208 registros en la base de datos "ESNM" de 34 especies del género *Opuntia* (33.7% del total de nopales silvestres), de las cuales 32 son endémicas de México, lo que corresponde al 94.1% de endemismos en este estado y al 41.6% del total de especies endémicas de México.

La distribución geográfica de los nopales silvestres se concentra en el centro y S del estado, en la zona del Valle del Mezquital, donde el tipo de



vegetación es matorral xerófilo y el clima es seco y semiseco; el SE del estado también presenta una distribución geográfica importante, donde predomina el bosque de coníferas y encinos, con clima templado subhúmedo. Al N del estado, en la Sierra Madre Oriental, no hay registros debido a que es una zona muy húmeda cubierta con vegetación de Bosques Mesófilos de Montaña y Bosques Tropicales Perennifolios, en los cuales no hay condiciones adecuadas para el establecimiento de nopales.

Hidalgo cuenta con cinco ANP's, la más importante para los nopales es la "Barranca de Metztitlán" y en su interior se encuentran protegidas ocho especies: *Opuntia azurea*, *O. cantabrigiensis*, *O. lasiacantha*, *O. pubescens*, *O. pumila*, *O. robusta*, *O. stenopetala* y *O. streptacantha*. También hay registros de nopales silvestres en la ANP "Los Mármoles", ubicada al W del estado y resguarda tres especies: *O. cantabrigiensis*, *O. decumbens* y *O. engelmannii* y "Tula" con una especie registrada: *O. megacantha*.

Jalisco

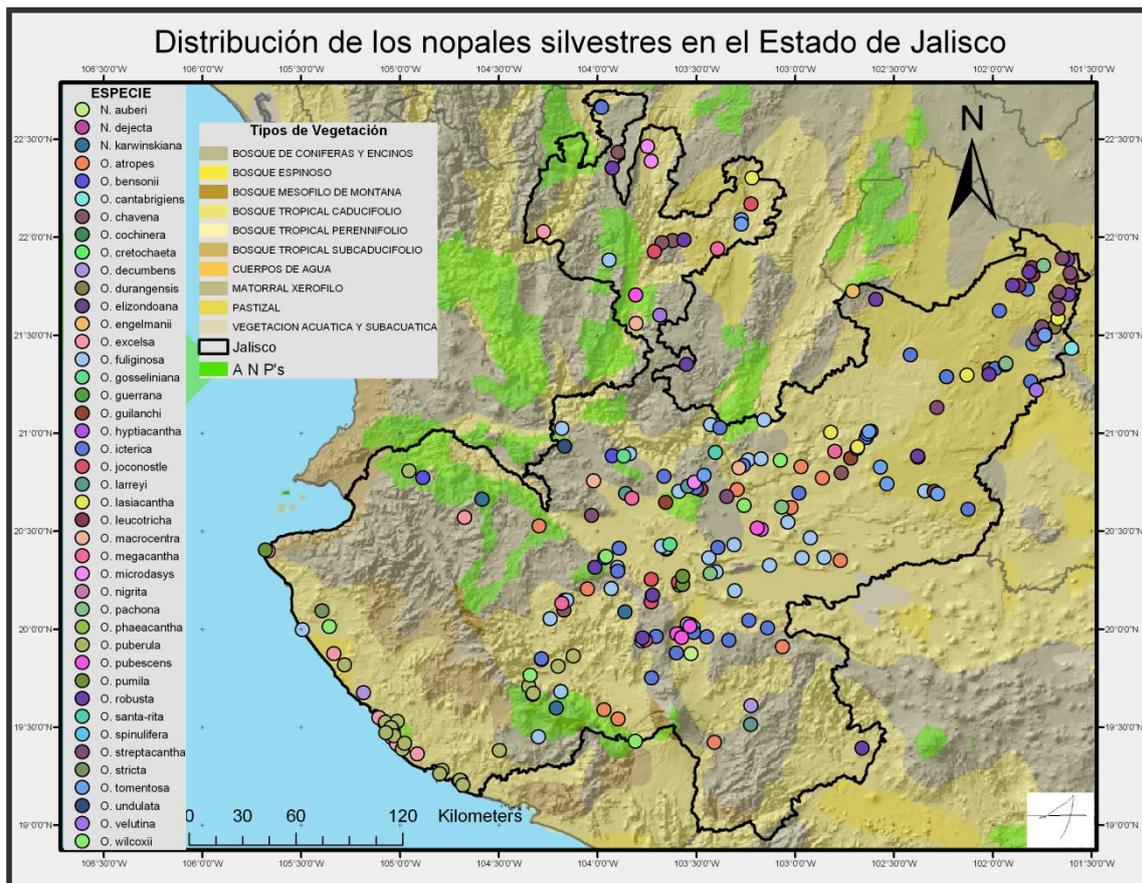


Figura 15. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Jalisco.

Jalisco tiene una extensión de 78,599km², ocupa el 7° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 4% del total del país. Cuenta con 403 registros en la base de datos “ESNM” de 42 especies: 39 del género *Opuntia* y tres de *Nopalea* (41.6% del total de nopales silvestres), de las cuales 32 son endémicas de México, lo que corresponde al 76.2% de endemismos en este estado y al 41.6% del total de especies endémicas de México.

Los nopales silvestres se distribuyen en todo el estado, donde predomina el bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo, matorral xerófilo con clima semiseco a seco y algunas zonas presentan bosques de coníferas y encinos con un clima templado subhúmedo. Es uno de los estados donde ha habido mas trabajo de campo en la zona costera, reflejando la gran diversidad y riqueza de especies. En una pequeña porción al W del estado, en la Sierra Madre del Sur no se



observan nopales, probablemente debido a las condiciones climáticas y de vegetación que presenta, así como al poco trabajo de campo que se ha realizado.

Jalisco cuenta con 11 ANP's, de las cuales seis presentan registros de nopales silvestres: "La Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit" al NW del estado y que se comparte con Aguascalientes, Durango, Nayarit y Zacatecas, resguarda ocho especies: *Nopalea karwinskiana*, *Opuntia atropes*, *O. cantabrigiensis*, *O. engelmannii*, *O. fuliginosa*, *O. icterica*, *O. puberula* y *O. pubescens*; "La Sierra de Manantlán" resguarda cuatro especies: *N. karwinskiana*, *O. atropes*, *O. excelsa* y *O. fuliginosa*; "La sierra de Quila" resguarda dos especies: *O. guerrana* y *O. robusta*; "La Primavera" resguarda tres especies: *O. fuliginosa*, *O. guilanchi* y *O. icterica*; "Chamela-Cuixmala" resguarda dos especies: *O. excelsa* y *O. puberula*; y las "Islas de la bahía de Chamela" resguardan una especie: *O. excelsa*.

México

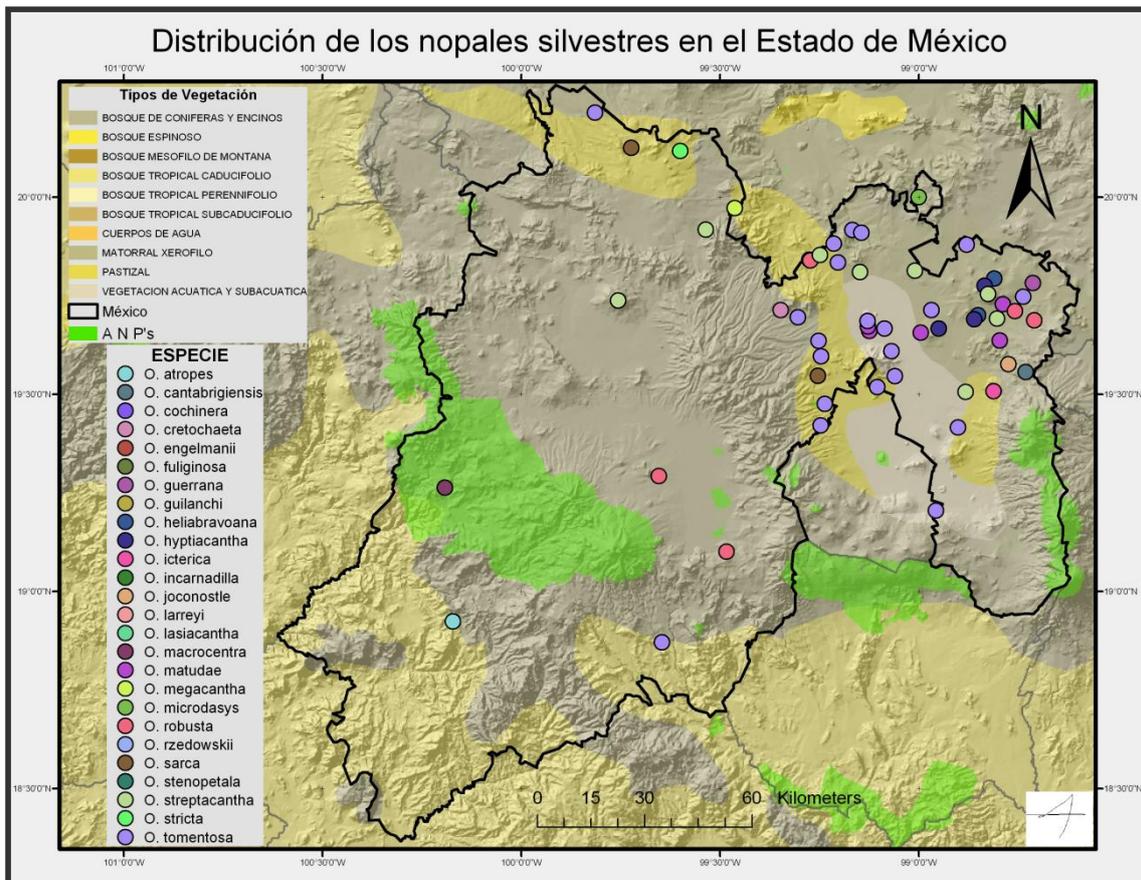


Figura 16. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de México.

México tiene una extensión de 22,357km², ocupa el 25° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 1.1% del total del país. Cuenta con 116 registros en la base de datos “ESNM” de 26 especies del género *Opuntia* (25.7% de total de nopales silvestres), de las cuales 21 son endémicas de México, lo que corresponde al 80.8% de endemismos en este estado y al 27.3% del total de especies endémicas de México.

La distribución se encuentra concentrada en el N y NE del estado donde predominan el pastizal y el matorral xerófilo, con clima seco y semiseco. En la mayor parte del estado no se distribuyen los nopales silvestres porque no existen condiciones climáticas y ecológicas ideales para su establecimiento. Debido a su cercanía con la ciudad de México, todas las zonas aledañas a él tienen un alto impacto de las actividades humanas, lo que ha hecho que se pierda este importante recurso. El N del estado es uno de los principales centros de producción de nopales

cultivados (tunas, xoconostles y nopal verdura) y se ha destruido casi por completo toda la diversidad de nopales silvestres para dar paso a extensos campos de cultivo. Hace falta aumentar el esfuerzo de recolecta en varias zonas del estado de México, principalmente al S y SW, donde comienza la depresión del balsas y la vegetación y el clima son completamente diferentes al resto del estado.

El estado de México cuenta con 12 ANP's en su territorio, de las cuáles solo una presenta registros de nopales silvestres: "Cuenca de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec" con dos especies: *Opuntia fuliginosa* y *O. macrocentra*. Las ANP's restantes poseen otro tipo de vegetación: bosques de coníferas y encinos.

Michoacán

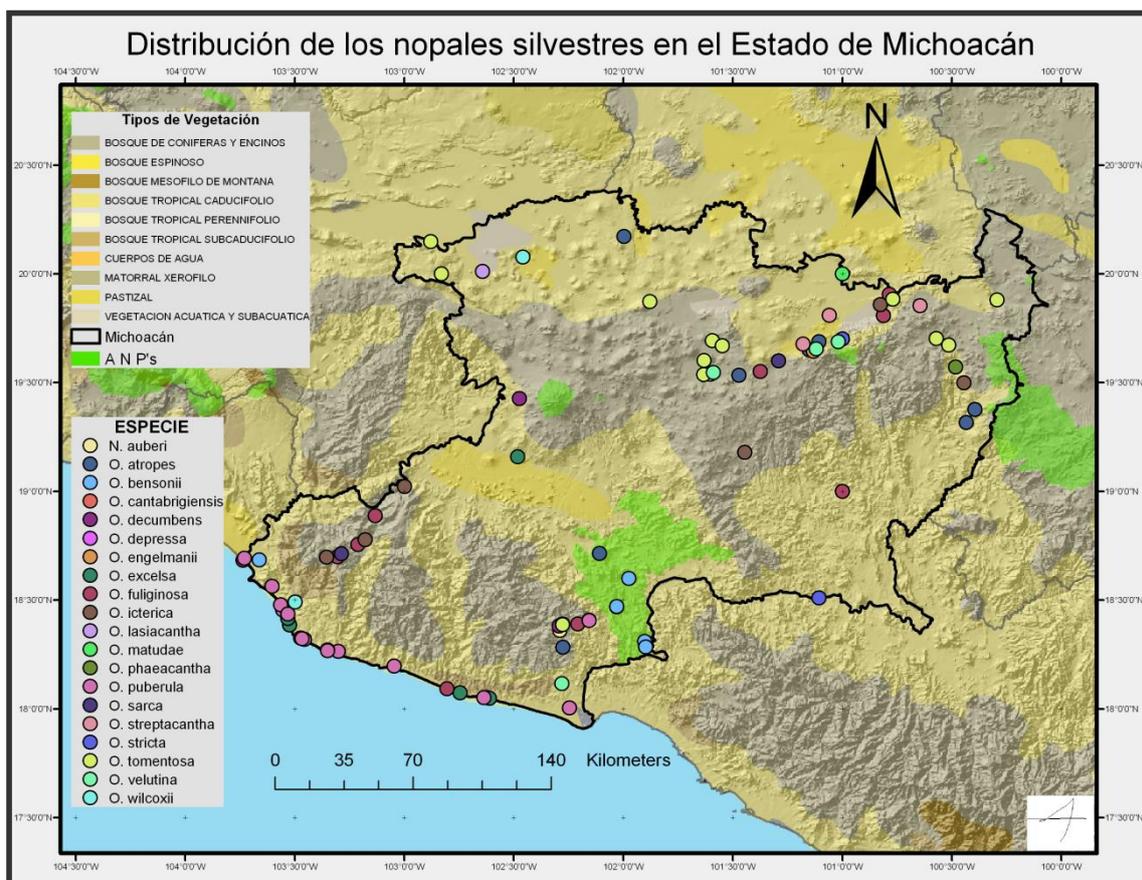


Figura 17. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Michoacán.

Michoacán tiene una extensión de 58,643km², ocupa el lugar 16° de la superficie de México, lo que equivale al 3% del total del país. Cuenta con 120

registros en la base de datos “ESNM” de 20 especies: 19 del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (19.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 15 son endémicas de México, lo que corresponde al 75% de endemismos en este estado y al 19.5% del total de especies endémicas de México.

La distribución geográfica principal se encuentra al NE, en zonas de bosque tropical caducifolio y clima seco y semiseco, así como en bosques de coníferas y encinos, con clima templado subhúmedo; secundariamente al S del estado, hay también registros en bosques tropicales caducifolios y bosques de coníferas y encinos, con climas cálidos y templados subhúmedos, y a lo largo de la costa donde predominan bosques tropicales caducifolios y un clima cálido subhúmedo. Michoacán es un estado muy heterogéneo y poco trabajado debido a que su relieve es muy accidentado, a la delincuencia que existe y a las pocas vías de comunicación que cruzan la depresión del Balsas y la Sierra Madre del Sur hasta la costa del Pacífico.

Michoacán cuenta con 11 ANP's donde no están muy bien representados los nopales silvestres ya que solo dos “Zicuirán-Infiernillo” resguarda dos especies: *Opuntia atropes* y *O. bensonii* y “Playa de Maruata y Cocola” resguarda una especie más: *O. puberula*. Las restantes ANP's protegen principalmente algunas playas donde anidan tortugas, y otras corresponden a áreas de bosques de coníferas y encinos.

Morelos

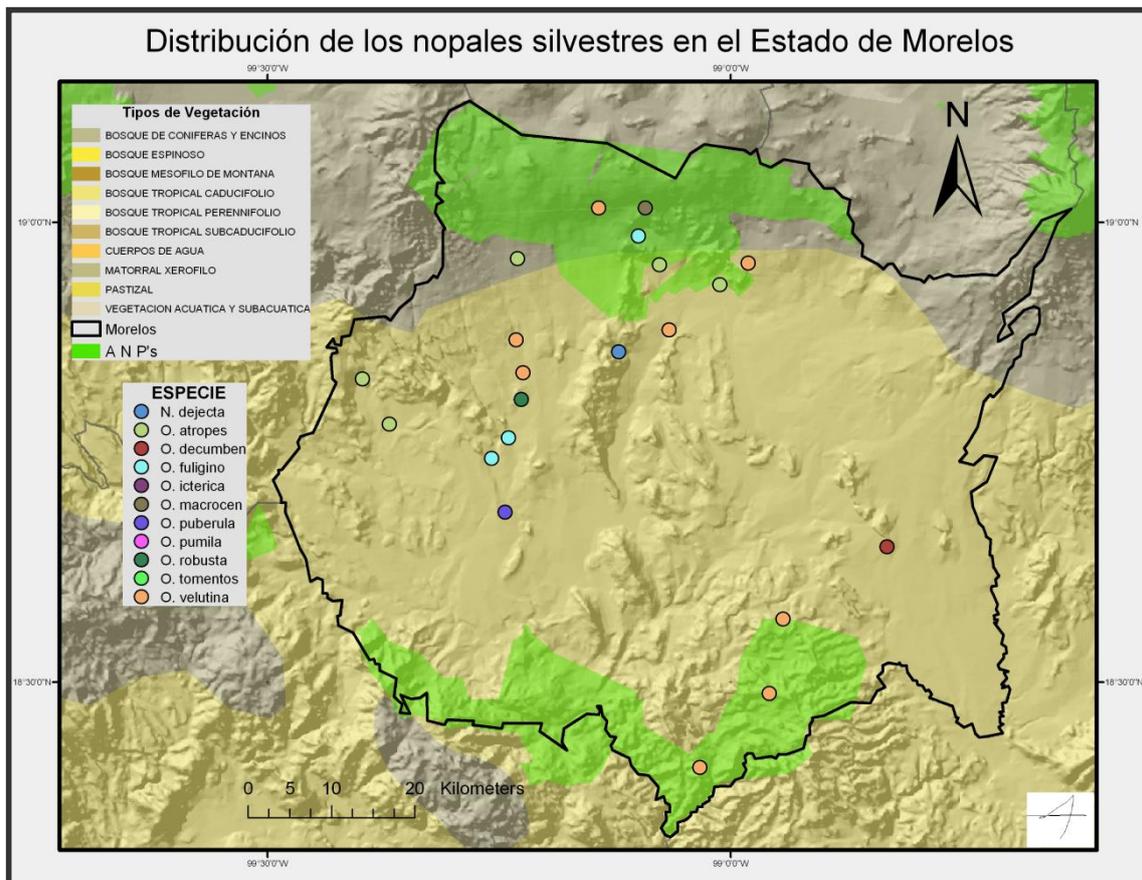


Figura 18. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Morelos.

Morelos tiene una extensión de 4,893km², ocupa el 30° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 0.2% de total del país. Cuenta con 40 registros en la base de datos “ESNM” de 11 especies: 10 del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (10.9% del total de nopales silvestres), de las cuales ocho son endémicas de México, lo que corresponde al 72.7% de endemismos en este estado y al 10.4% del total de especies endémicas de México.

Al igual que la mayoría de estados, en Morelos se ha desarrollado muy poco trabajo de campo. Se observa que la distribución geográfica está concentrada en el N y NW del estado, donde hay bosques tropicales caducifolios y bosques de coníferas y encinos, con climas cálidos, semicálidos y templados subhúmedos. Al S también se observa que se distribuyen varias especies (Fig. 18), distribuidas densamente en la zona por lo que varios puntos están sobrepuestos. El estado de Morelos está muy deteriorado por actividades agrícolas, pero aun existen

fragmentos de bosque tropical caducifolio por todo el estado, que podrían albergar a otras especies de nopales silvestres no registrados aún por falta de trabajo de campo.

Morelos cuenta con cinco ANP's, de las cuales solo dos resguardan nopales silvestres: La "Sierra de Huautla" ubicada al S del estado, alberga ocho especies: *Opuntia atropes*, *O. decumbens*, *O. fuliginosa*, *O. icterica*, *O. puberula*, *O. pumila*, *O. tomentosa* y *O. velutina*; y "El Tepozteco", al N del estado alberga cinco especies: *O. atropes*, *O. icterica*, *O. fuliginosa*, *O. macrocentra* y *O. velutina*.

Nayarit



Figura 19. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Nayarit.

Nayarit tiene una extensión de 27,815km², ocupa el 23° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 1.4% del total del país. Cuenta con 63 registros en la base de datos "ESNM" de 18 especies: 15 del género *Opuntia* y tres de *Nopalea* (17.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 15 son endémicas



de México, lo que corresponde al 83.3% de endemismos en este estado y al 19.5% del total de especies endémicas de México.

La distribución no es uniforme a lo largo y ancho del estado, los nopales silvestres se distribuyen principalmente en el centro y SE, donde predominan los bosques tropicales caducifolios, sobre climas cálidos subhúmedos, y los bosques de coníferas y encinos, en climas templados subhúmedos. Otra región importante es una pequeña zona de bosque tropical caducifolio al N del estado. En la parte N de la costa no se observa riqueza alguna debido a que es una zona de manglar muy extensa, pero de la parte media hasta el Sur, se necesita aumentar el trabajo de campo ya que solo se ha colectado un ejemplar en esa región. En el archipiélago de las Islas Marías, en la isla María Madre, también se observa que se distribuye una especie de silvestre.

Nayarit cuenta con cuatro ANP's, de las cuales solo dos resguardan nopales silvestres en su interior: "La Cuenca alimentadora del Distrito de riego 043 Estado de Nayarit" protege nueve especies: *Nopalea nuda*, *Opuntia durangensis*, *O. excelsa*, *O. feroacantha*, *O. ictérica*, *O. larreyi*, *O. macrocentra*, *O. pubescens* y *O. spraguei*; e "Islas Marías", que protege a *O. feroacantha*.

Nuevo León

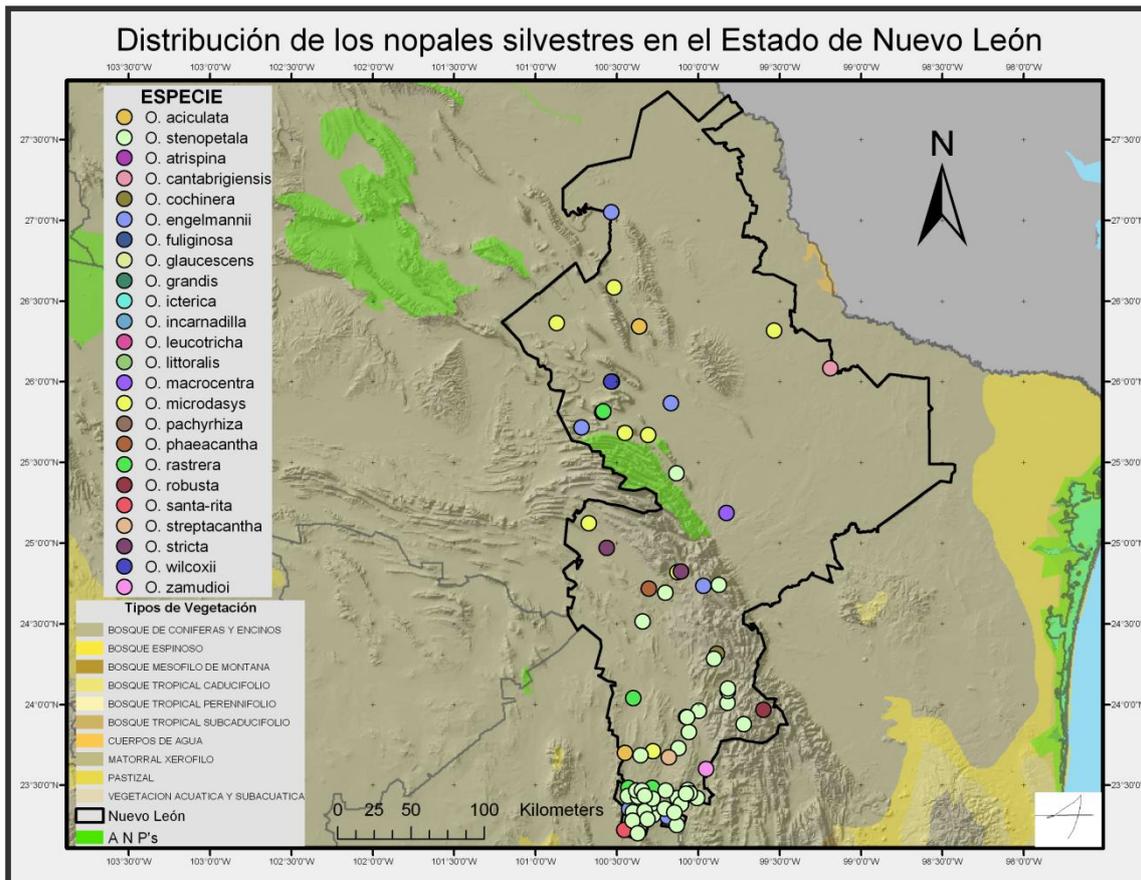


Figura 20. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Nuevo León.

Nuevo León tiene una extensión de 64,220km², ocupa el 13° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.3% del total del país. Cuenta con 144 registros en la base de datos “ESNM” de 24 especies del género *Opuntia* (23.8% de total de nopales silvestres), de las cuales 16 son endémicas de México, lo que corresponde al 66.7% de endemismos en este estado y al 20.8% del total de especies endémicas de México.

La distribución se concentra al S del estado que pertenece a la provincia del Altiplano Sur (zacatecano-potosino), donde predominan los matorrales xerófilos y el clima es seco y semiseco. Al W del estado y en la Sierra Madre Oriental se observa también que se distribuyen algunos nopales en las partes bajas, donde predominan los bosques tropicales caducifolios, en clima cálido subhúmedo, y en las partes altas, bosque de coníferas y encinos con clima templado subhúmedo. En

el E y N del estado no se observa riqueza considerable, probablemente debido al escaso trabajo de campo.

Nuevo León cuenta con tres ANP's, las cuales protegen bosques de coníferas y encinos y ninguna protege a los nopales silvestres que alberga este estado.

Oaxaca

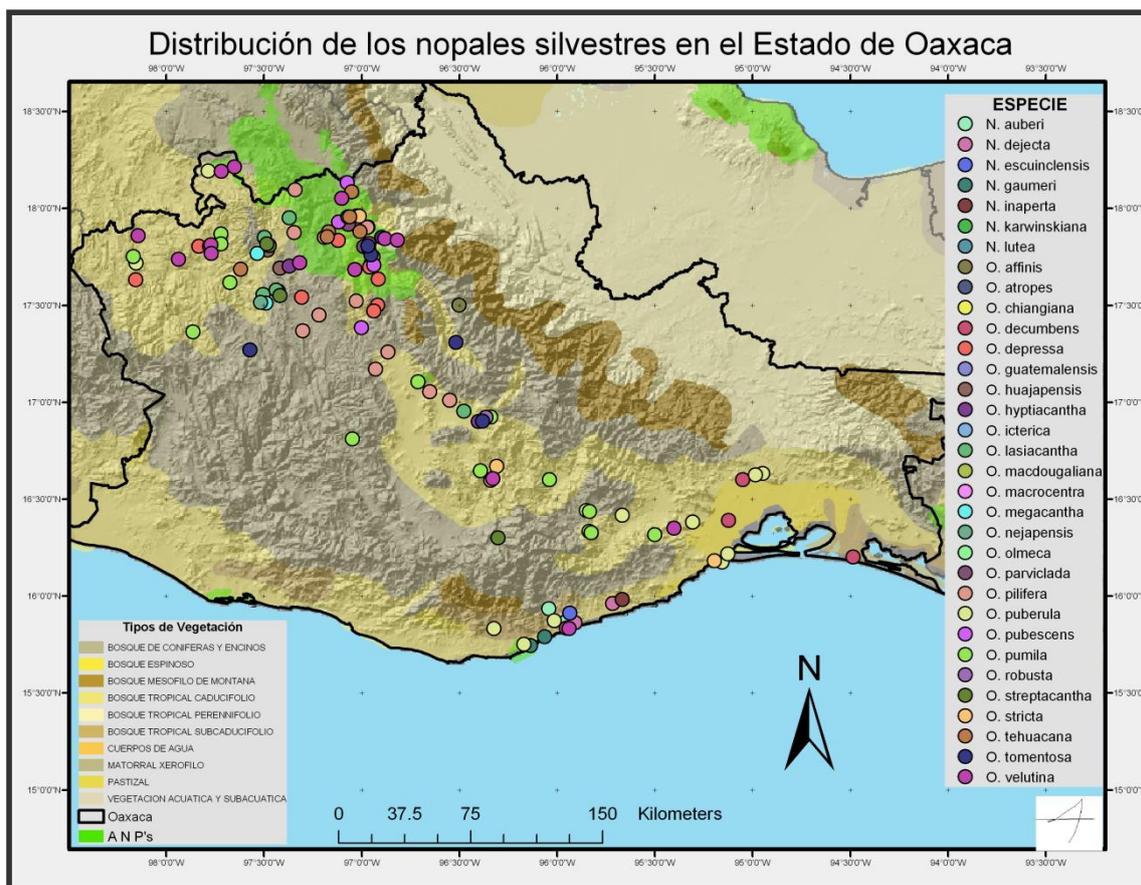


Figura 21. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Oaxaca.

Oaxaca tiene una extensión de 93,793km², ocupa el 5° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 4.8% del total del país. Cuenta con 172 registros en la base de datos "ESNM" de 33 especies: 26 del género *Opuntia* y siete de *Nopalea* (32.7% del total de nopales silvestres), de las cuales 25 son endémicas de México, lo que corresponde al 75.8% de endemismos en este estado y al 32.5% del total de especies endémicas de México.



Oaxaca tiene dos de las nueve especies microendémicas de México consideradas por Scheinvar *et al.* (2010): *Opuntia nezapensis* y *O. olmeca*, que se distribuyen solo en la “Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán”.

Los nopales silvestres se distribuyen en la Sierra Madre del Sur, al NW del estado, donde predominan el matorral xerófilo con clima seco, el bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo y el bosque de coníferas y encinos con clima templado subhúmedo; el centro, SE y la costa del estado, donde predomina el bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo. Oaxaca es uno de los estados mas heterogéneos, biodiversos en flora y fauna y con un relieve muy accidentado, lo que hace muy difícil ingresar a zonas alejadas de las carreteras y por lo tanto existen un vacío de información, hace falta mucho trabajo de campo en la costa oeste así como en el NE del estado.

Oaxaca cuenta con siete ANP’s, en donde la más importante en cuanto al resguardo de los nopales silvestres se ubica al NW, en la reserva de la biosfera de “Tehuacán-Cuicatlán”, que comparte con el estado de Puebla. En la parte correspondiente a Oaxaca, la reserva resguarda 16 especies: *Opuntia atropes*, *O. chiangiana*, *O. decumbens*, *O. depressa*, *O. ictérica*, *O. lasiacantha*, *O. macdougaliana*, *O. parviclada*, *O. pilifera*, *O. puberula*, *O. pubescens*, *O. pumila*, *O. stricta*, *O. tehuacana*, *O. tomentosa*, y *O. velutina*. El “Parque Nacional Huatulco” contiene una especie: *O. puberula*.

Puebla

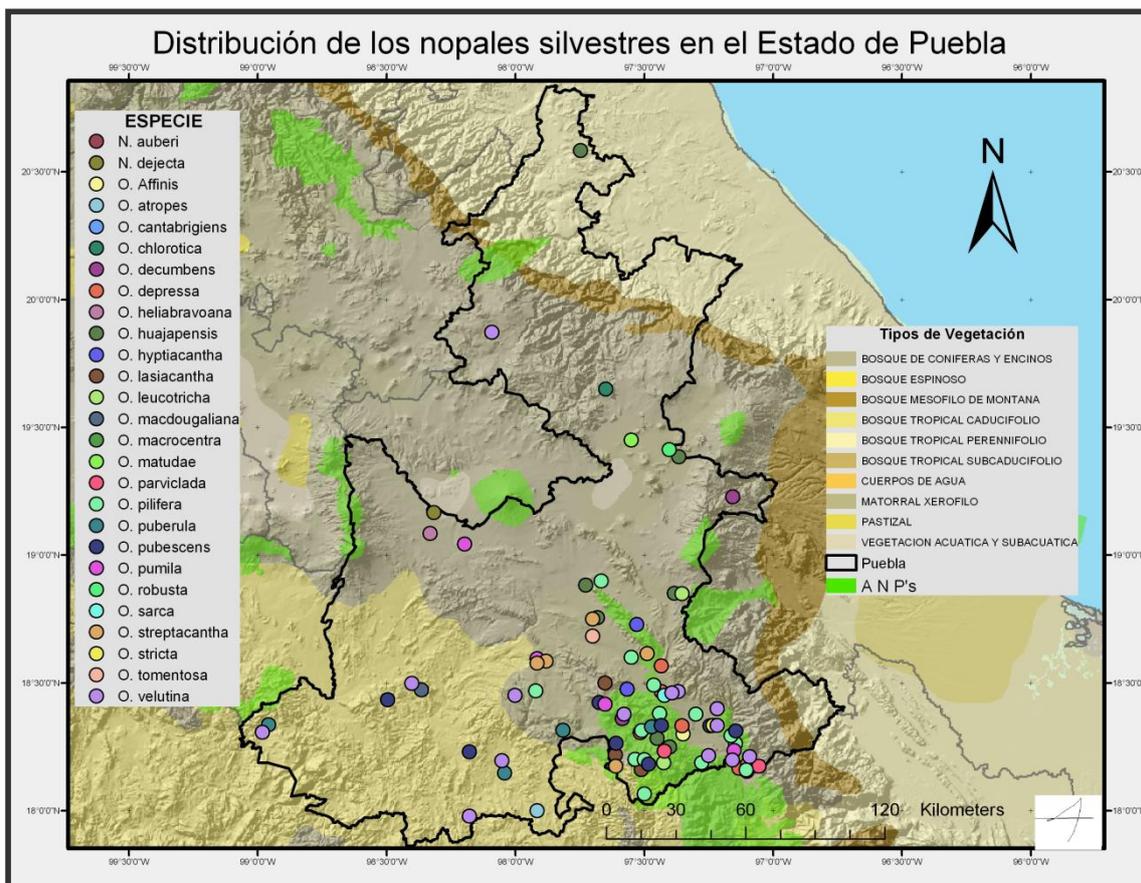


Figura 22. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Puebla.

Puebla tiene una extensión de 34,290km², ocupa el 21° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 1.8% del total del país. Cuenta con 130 registros en la base de datos “ESNM” de 27 especies: 25 del género *Opuntia* y dos de *Nopalea* (26.7% del total de nopales silvestres), de las cuales 21 son endémicas de México, lo que corresponde al 77.8% de endemismos en este estado y al 27.3% del total de especies endémicas de México.

Los nopales silvestres tienen una marcada distribución geográfica en el SE del estado donde predomina el matorral xerófilo con clima seco y semiseco y que pertenece a la Sierra Madre del Sur, así como en el S, donde predomina el bosque tropical caducifolio y el clima es cálido subhúmedo. En el N no se observa una distribución geográfica muy amplia, debido a que no existen las condiciones necesarias para el establecimiento de los nopales.

Puebla cuenta con cuatro ANP's en donde la más importante en cuanto al resguardo de los nopales silvestres se ubica al SE y es la reserva de la Biosfera de "Tehuacán-Cuicatlán", que comparte con el estado de Oaxaca. En la parte correspondiente a Puebla, la reserva resguarda 14 especies: *Opuntia decumbens*, *O. depressa*, *O. huajapensis*, *O. hyptiacantha*, *O. lasiacantha*, *O. leucotricha*, *O. macdougaliana*, *O. parviclada*, *O. pilifera*, *O. puberula*, *O. pubescens*, *O. pumila*, *O. streptacantha* y *O. velutina*.

Querétaro

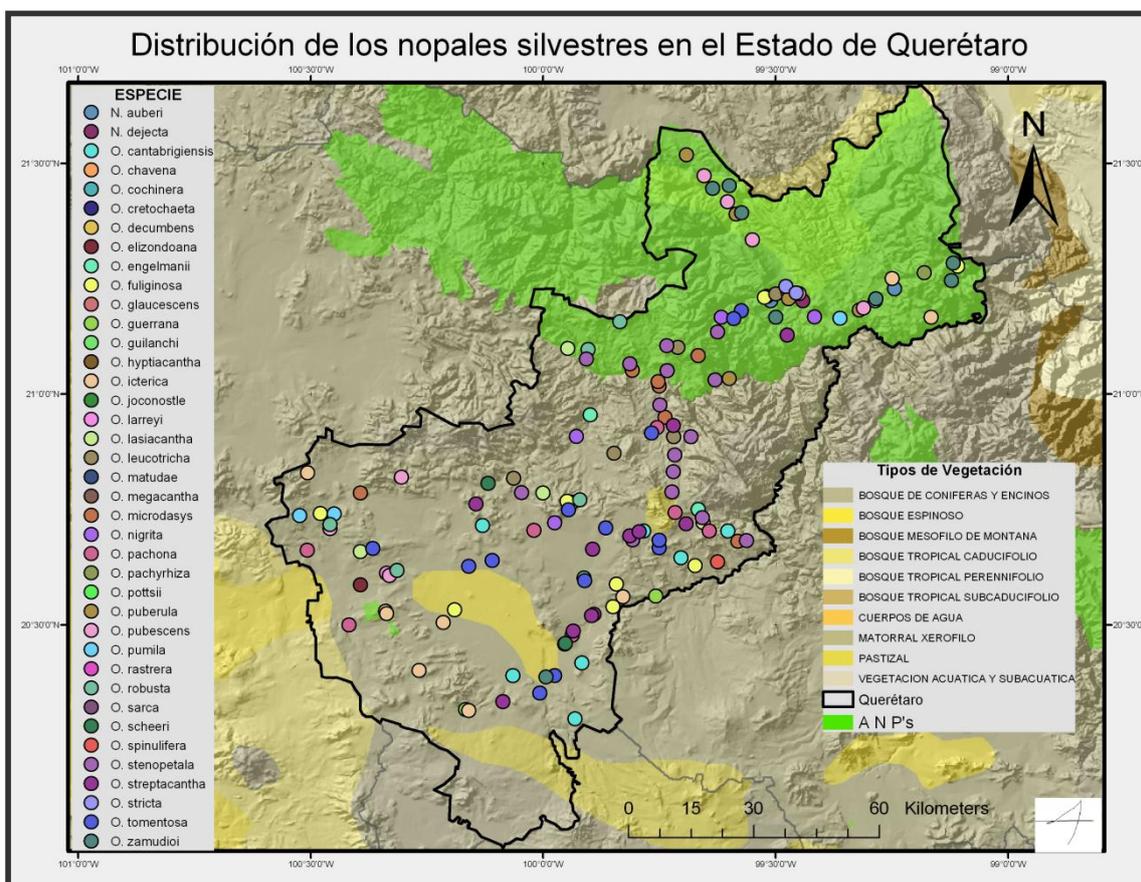


Figura 23. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Querétaro.

Querétaro tiene una extensión de 11,684km², ocupa el 27° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 0.6% del total del país. Cuenta con 271 registros en la base de datos "ESNM" de 39 especies: 37 del género *Opuntia* y dos de *Nopalea* (38.6% del total de nopales silvestres), de las cuales 33 son endémicas de México, lo que corresponde al 84.6% de endemismos en este estado y al 42.9% del total de especies endémicas de México.



Los nopales silvestres se distribuyen en prácticamente todo el estado donde la vegetación predominante es matorral xerófilo con clima seco a semiseco, también se presentan pequeñas zonas de bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo y bosque de coníferas y encinos con clima templado subhúmedo.

Querétaro cuenta con tres ANP's de las cuales la reserva de la biosfera de "La Sierra Gorda" es la más importante a nivel nacional en cuanto a resguardo de nopales, en su interior se distribuyen 30 especies: *Nopalea auberi*, *N. dejecta*, *Opuntia cantabrigiensis*, *O. cretochaeta*, *O. decumbens*, *O. elizondoana*, *O. engelmannii*, *O. fuliginosa*, *O. guerrana*, *O. guilanchi*, *O. ictérica*, *O. larreyi*, *O. lasiacantha*, *O. leucotricha*, *O. megacantha*, *O. microdasys*, *O. nigrita*, *O. pachyrhiza*, *O. pottsii*, *O. puberula*, *O. pubescens*, *O. pumila*, *O. rastrera*, *O. robusta*, *O. scheeri*, *O. stenopetala*, *O. streptacantha*, *O. stricta*, *O. tomentosa* y *O. zamudioi*; En el parque nacional "El Cimatario" hay dos especies: *O. ictérica* y *O. fuliginosa*.

Quintana Roo

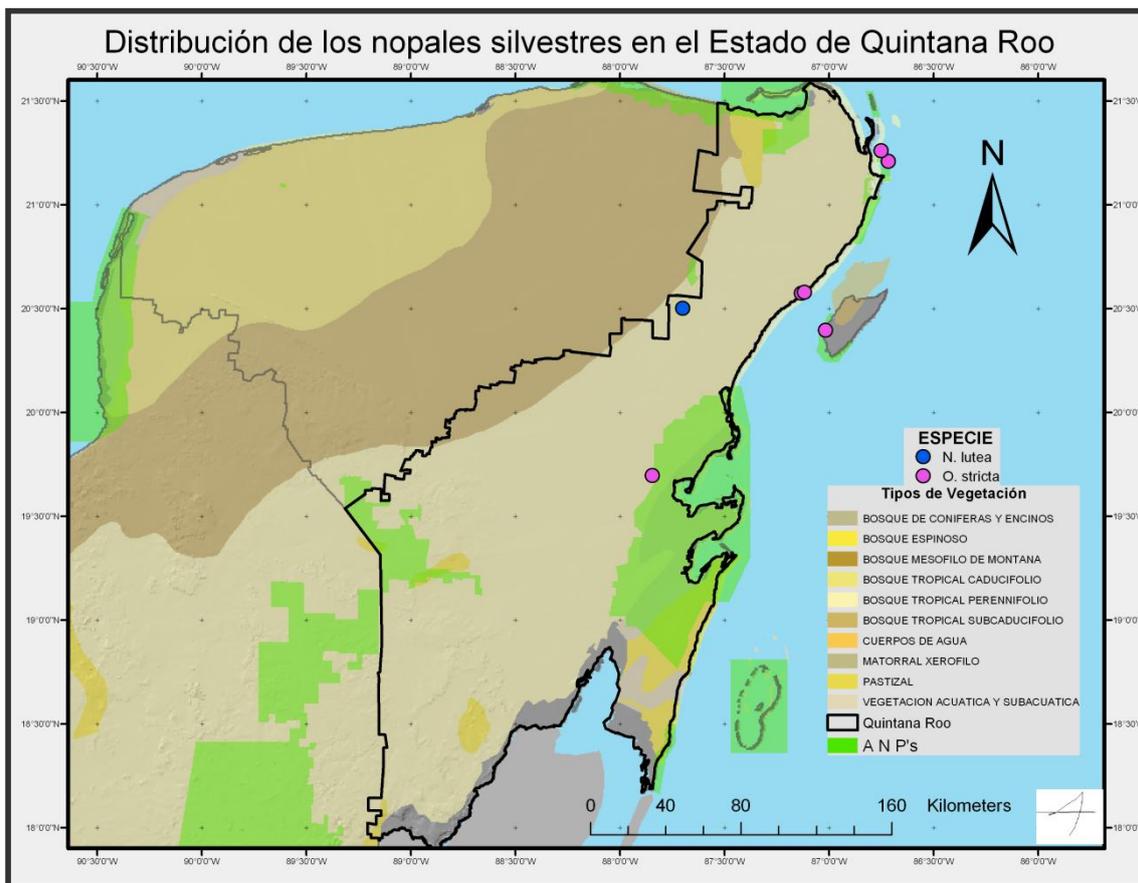


Figura 24. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Quintana Roo.

Quintana Roo tiene una extensión de 42,361km², ocupa el 19° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 2.2% del total del país. Cuenta con siete registros en la base de datos “ESNM” de dos especies: una del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (2% del total de nopales silvestres), de las cuales ninguna es endémica de México.

No se observa una distribución marcada de los nopales silvestres dentro de Quintana Roo, debido a que no cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para que se desarrollen. Existen algunos registros al N y en la costa del estado donde el tipo de vegetación es bosque tropical caducifolio y el clima es cálido subhúmedo, así como en la Isla de Cozumel donde predomina el bosque tropical subcaducifolio y el clima es cálido húmedo. Hace falta realizar mucho trabajo de campo para documentar mejor la riqueza de este estado ya que ha sido muy poco explorado para buscar nopales silvestres.

Quintana Roo cuenta con 15 ANP's de las cuales solo una "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc", resguarda una especie en sus dunas: *Opuntia stricta*.

San Luis Potosí

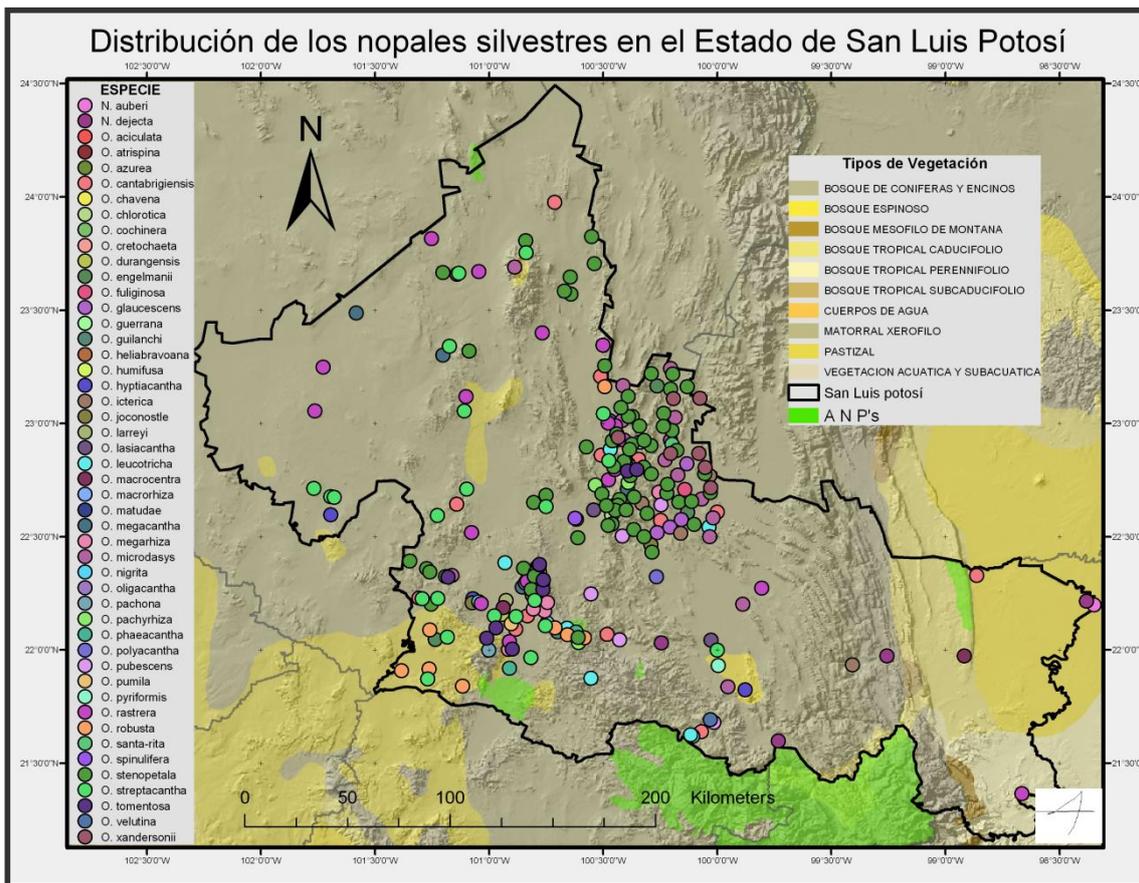


Figura 25. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de San Luis Potosí.

San Luis Potosí tiene una extensión de 60,983km², ocupa el 15° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.1% del total del país. Cuenta con 556 registros en la base de datos "ESNM" de 48 especies: 46 del género *Opuntia* y dos de *Nopalea* (47.5% del total de nopales silvestres), de las cuales 36 son endémicas de México, lo que corresponde al 75% de endemismos en este estado y al 46.8% del total de especies endémicas de México.

A pesar de ser el estado mas diverso en nopales silvestres, la mayor distribución se concentra en zonas muy localizadas al centro y N del estado, donde



predominan los matorrales xerófilos y el clima varía de semiseco a muy seco en algunas zonas; existen algunos registros en pequeñas regiones serranas al S pertenecientes a la Sierra Madre Oriental, donde la vegetación está compuesta de bosques de coníferas y encinos y el clima es templado subhúmedo; al SE del estado hay algunas colectas, pero no se observa una distribución muy amplia debido a que las condiciones ecológicas y climáticas son muy distintas a las del centro.

San Luis Potosí cuenta con cinco ANP's, de las cuales solo una resguarda una pequeña parte de la riqueza que contiene el estado. Al S del estado se localiza el ANP denominada "Sierra de Álvarez" que protege a nueve especies: *Opuntia azurea*, *O. cantabrigiensis*, *O. chavena*, *O. hyptiacantha*, *O. leucotricha*, *O. phaeacantha*, *O. pachyrhiza*, *O. robusta*, y *O. stenopetala*.

Sinaloa

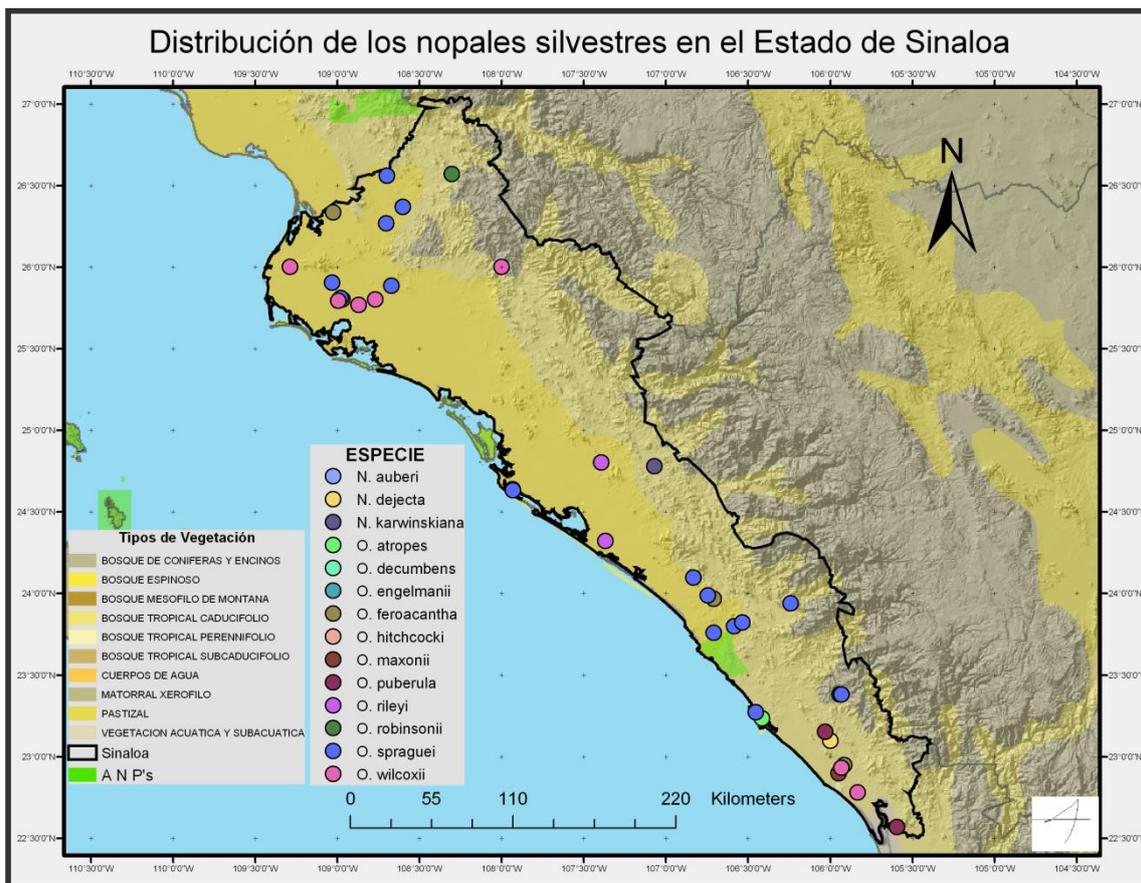


Figura 26. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Sinaloa.

Sinaloa tiene una extensión de 57,377km², ocupa el 18° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 2.9% del total del país. Cuenta con 84 registros de 14 especies en la base de datos "ESNM": 11 del género *Opuntia* y tres de *Nopalea* (13.9% del total de nopales silvestres), de las cuales 11 son endémicas de México, lo que corresponde al 78.6% de endemismos en este estado y al 14.3% del total de especies endémicas de México.

Se observa una distribución azarosa debido al poco esfuerzo de recolecta que se ha realizado en el estado y al cambio de uso de suelo que ha fragmentado de manera descomunal el hábitat en el cual habitan los nopales silvestres con consecuente pérdida de gran cantidad de recursos vegetales. La distribución geográfica se concentra muy al N y del centro hacia el S con tipo de vegetación de bosque espinoso, clima semiseco a seco y bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo. Existen grandes vacíos de información a lo largo de todo el

estado. También se observa que los nopales se distribuyen en la costa, pero hace falta un mayor esfuerzo de recolecta en esta zona para hacer su inventario.

Sinaloa cuenta con tres ANP's de las cuales ninguna resguarda alguna especie de nopales silvestres conocidas en este estado.

Sonora



Figura 27. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Sonora.

Sonora tiene una extensión de 179,503km², ocupa el 2° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 9.2% del total del país. Cuenta con 87 registros en la base de datos “ESNM” de 22 especies: 21 del género *Opuntia* y una de *Nopalea* (21.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 11 son endémicas de México, lo que corresponde al 50% de endemismos en este estado y al 14.3% del total de especies endémicas de México.



La distribución geográfica de los nopales silvestres se encuentra concentrada al SE del estado donde el tipo de vegetación es de bosque espinoso y el clima es semiseco y seco. También se distribuyen al E, en algunas serranías de la Sierra Madre Occidental, donde el tipo de vegetación predominante es de bosque de encinos y coníferas con clima templado subhúmedo. En el centro, N y NW del estado no se conoce una amplia distribución, aunque existen las condiciones de clima y vegetación favorables para el desarrollo de los nopales. Es uno de los estados más grandes de México y hace falta mucho trabajo de campo pero se dificulta por la inseguridad actual.

Sonora cuenta con ocho ANP's de las cuales solo tres resguardan una parte de la riqueza de nopales silvestres conocida en el estado: "El Pinacate y Gran Desierto de Altar" con cuatro especies: *Opuntia basilaris*, *O. chlorotica*, *O. macrocentra* y *O. santa-rita*; la ANP "Tutuaca" con tres especies: *O. macrorhiza*, *O. phaeacantha* y *O. robusta*; y "Las Islas del Golfo de California" con una especie: *O. littoralis*.

Tabasco

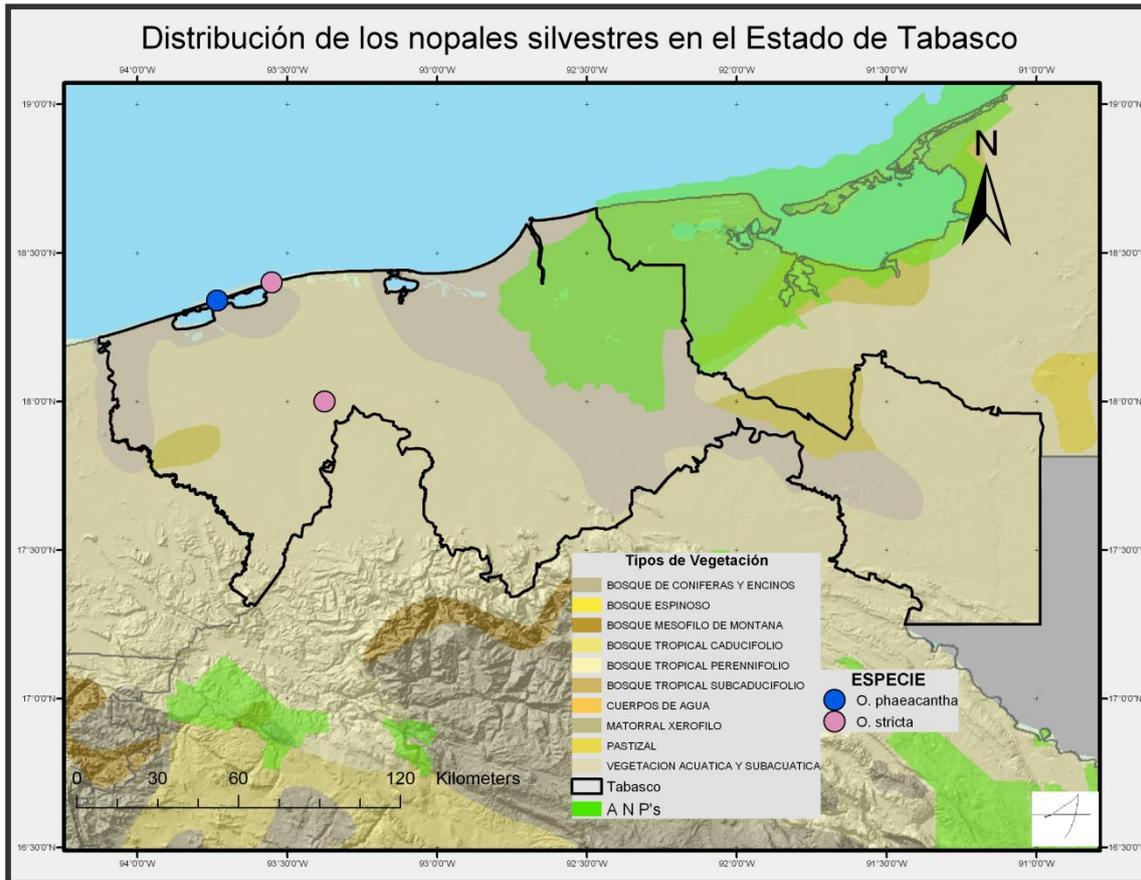


Figura 28. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Tabasco.

Tabasco tiene una extensión de 24,738km² y ocupa el 24° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 1.3% del total del país. Cuenta con cuatro registros en la base de datos “ESNM” de dos especies del género *Opuntia* (2% del total de nopales silvestres), ambas distribuidas también fuera de la República Mexicana.

En Tabasco no se observa una distribución geográfica importante de los nopales silvestres, solo ocurren en la parte E de la costa y en el E del estado, donde predomina el bosque tropical perennifolio con clima cálido húmedo. Cabe mencionar que es el estado menos trabajado en cuanto a nopales silvestres, seguramente debido a las condiciones climáticas y ecológicas no propicias para el desarrollo de nopales silvestres.

Tabasco cuenta con una ANP que no resguarda ninguna especie de nopal silvestre.

Tamaulipas

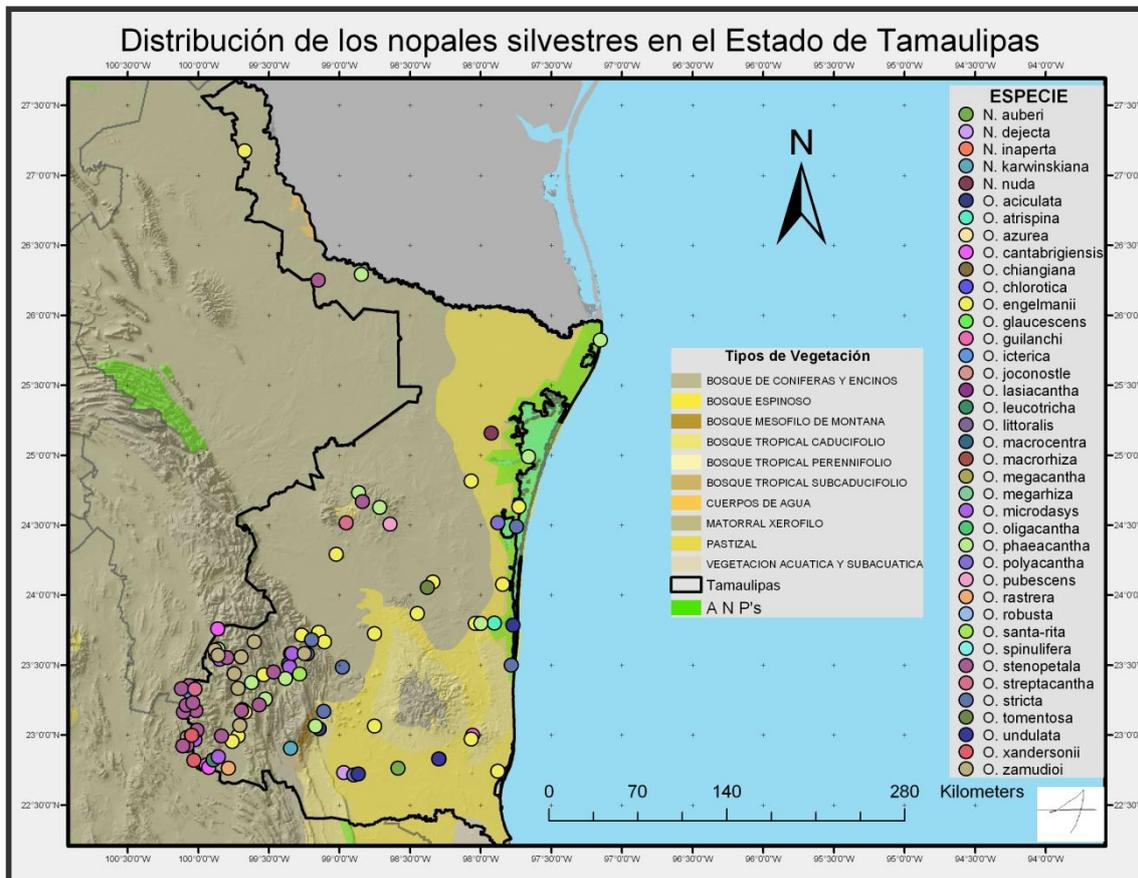


Figura 29. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Tamaulipas.

Tamaulipas tiene una extensión de 80,175km², ocupa el 6° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 4.1% del total del país. Cuenta con 179 registros en la base de datos “ESNM” pertenecientes a 39 especies: 34 del género *Opuntia* y cinco de *Nopalea* (38.6% del total de nopales silvestres), de las cuales 26 son endémicas de México, lo que corresponde al 66.7% de endemismos en este estado y 33.8% del total de especies endémicas de México.

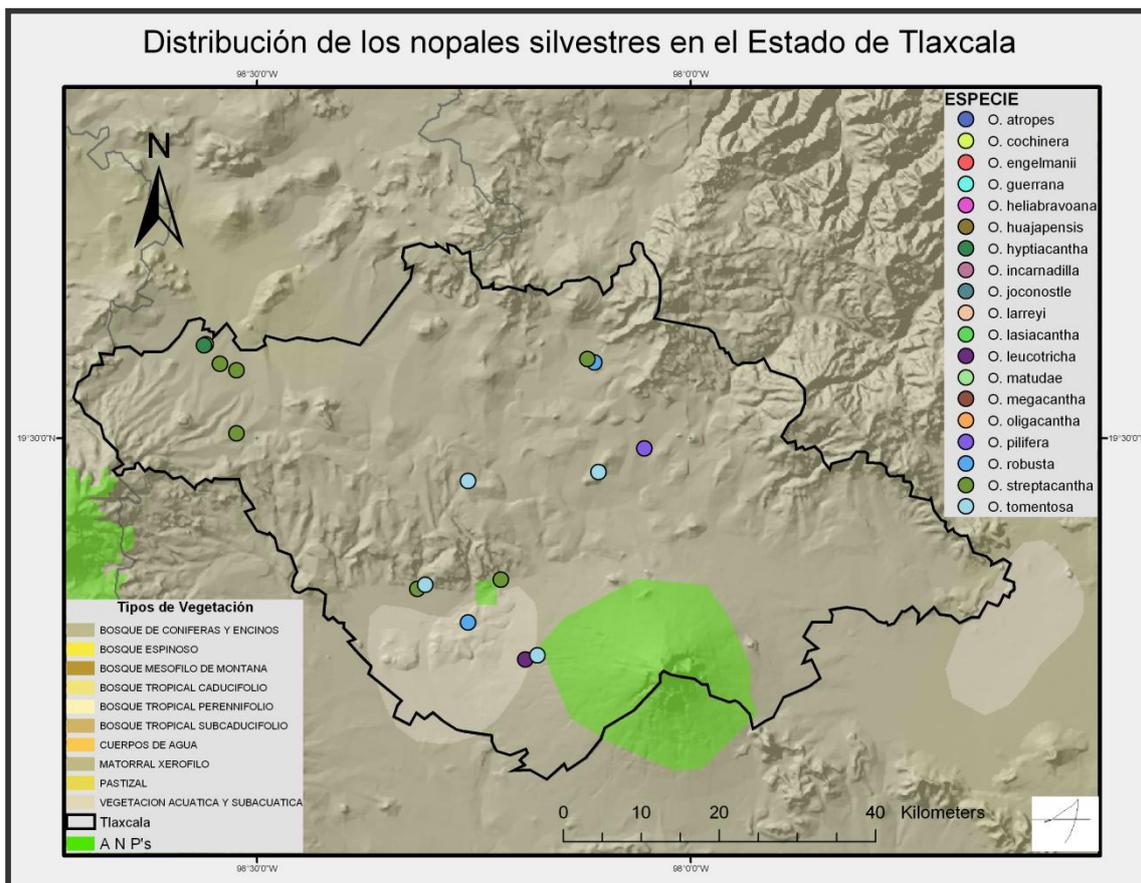
La distribución geográfica se encuentra concentrada al S y SW de Tamaulipas, donde el tipo de vegetación predominante es el matorral xerófilo con clima seco y semiseco, aunque también hay zonas de bosque de coníferas y encinos con clima templado subhúmedo pertenecientes a la Sierra Madre Oriental, donde



se observa la distribución de algunas especies. Otra zona importante es el NE del estado, cerca del Golfo de México, donde predomina el bosque espinoso con pastizal con clima cálido subhúmedo. Al centro y N del estado no se conoce una distribución importante, probablemente debido al poco trabajo de campo realizado hasta la fecha.

Tamaulipas cuenta con dos ANP's: "Laguna Madre y Delta del Río Bravo", en el N, en la cual se distribuyen 10 especies: *Nopalea karwinskiana*, *N. nuda*, *Opuntia atrispina*, *O. engelmannii*, *O. macrorhiza*, *O. phaeacantha*, *O. polyacantha*, *O. robusta*, *O. stricta*, y *O. undulata*; y La ANP "El Cielo", la cual aún aparece en el mapa de la CONANP utilizado en este trabajo, pero alberga cinco especies: *N. auberi*, *N. dejecta*, *N. nuda*, *O. phaeacantha* y *O. stricta*.

Tlaxcala



Tlaxcala tiene una extensión de 3,991km², ocupa el 31° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 0.2% del total del país. Cuenta con 43 registros en la base de datos “ESNM” de 19 especies del género *Opuntia* (18.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 17 son endémicas de México, lo que corresponde al 89.5% de endemismos en este estado y al 22.1% del total de especies endémicas de México.

La distribución en Tlaxcala es muy reducida, por tratarse de uno de los estados más fragmentados por actividades antropogénicas, como la introducción de pastizales secundarios para alimentar el ganado, la agricultura de temporal y de riego, que abarcan casi la totalidad de la superficie del estado. Solo ocurren en algunos relictos de bosque de coníferas y encinos donde el clima es templado subhúmedo y en la parte alta de barrancas de difícil acceso.

Tlaxcala cuenta con dos ANP's de las cuales solo en una se distribuyen nopales silvestres: El parque nacional: "Xicoténcatl" que solo resguarda una especie: *Opuntia streptacantha*.

Veracruz

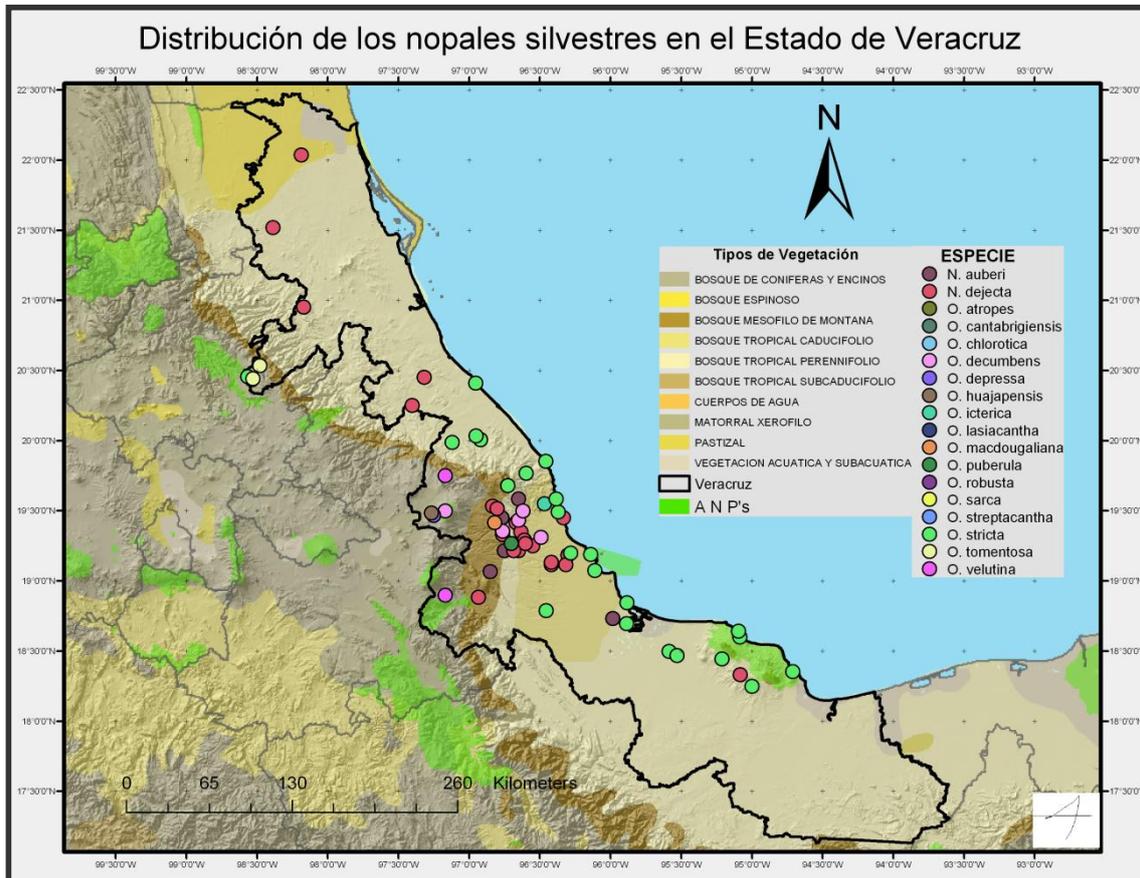


Figura 31. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Veracruz.

Veracruz tiene una extensión de 71,820km² y ocupa el 11° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.7% del total del país. Cuenta con 80 registros en la base de datos "ESNM", de 18 especies: 16 del género *Opuntia* y dos de *Nopalea* (17.8% del total de nopales silvestres), de las cuales 14 son endémicas de México, lo que corresponde al 77.8% de endemismos en este estado y al 18.2% del total de especies endémicas de México.

La mayor distribución se concentra en el centro del estado donde convergen las provincias biogeográficas del golfo de México y los tipos de vegetación predominantes son: bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo y

bosque tropical perennifolio con clima cálido húmedo; y Sierra Madre Oriental, donde predomina el bosque mesófilo de montaña con clima templado húmedo. La costa es una zona importante de distribución, ya que en las dunas costeras se han establecido comunidades vegetales donde una especie: *Opuntia stricta*, se ha adaptado muy bien a las condiciones climáticas ecológicas y edafológicas. El N y S del estado no presentan una distribución muy representativa y en las partes más altas se observan pocas especies establecidas en bosque tropical perennifolio.

Veracruz cuenta con cinco ANP's de las cuales solo dos resguardan nopales silvestres: El parque nacional: "Cofre de Perote", con una especie: *Opuntia decumbens*; y la reserva de la Biosfera "Los Tuxtlas", con una especie: *O. stricta*.

Yucatán

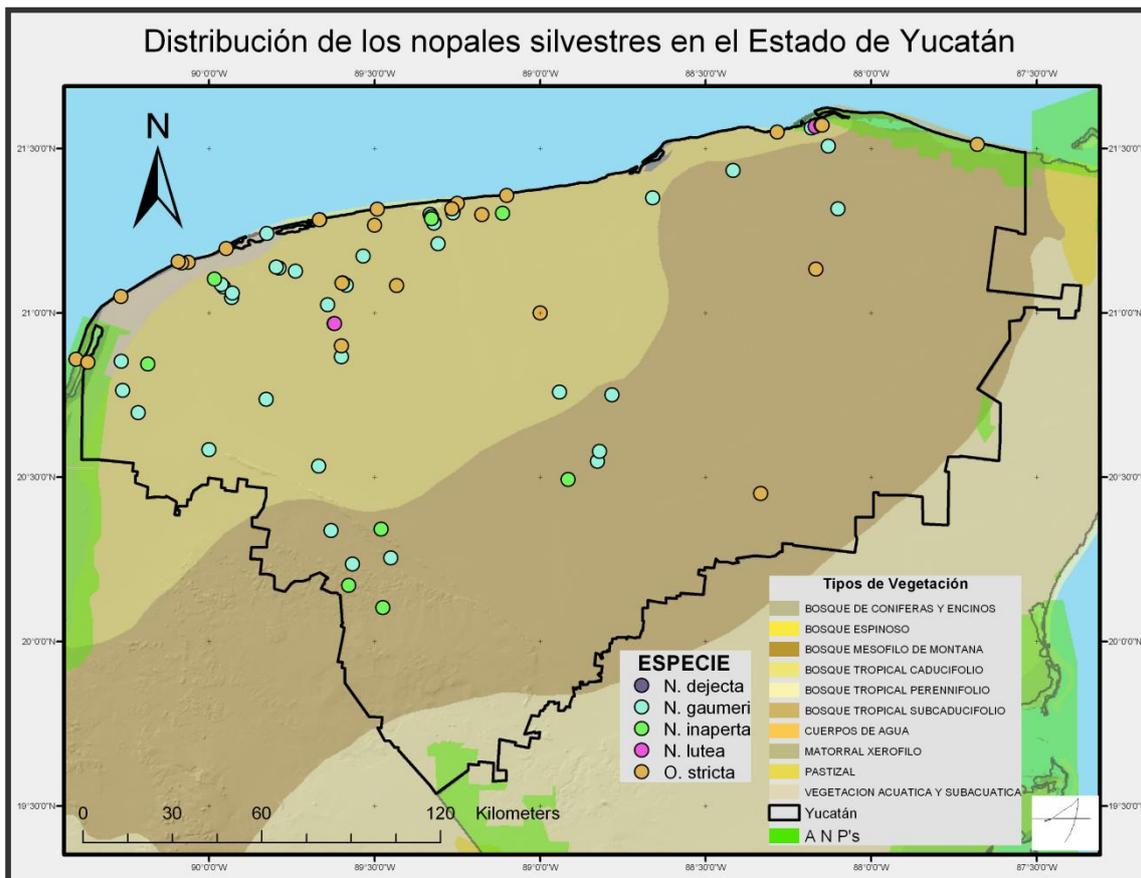


Figura 32. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Yucatán.

Yucatán tiene una extensión de 39,612km², ocupa el 20° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 2% del total del país. Cuenta con 86

registros en la base de datos “ESNM”, de cinco especies: una del género *Opuntia* y cuatro de *Nopalea* (5% del total de nopales silvestres), de las cuales tres del género *Nopalea* son endémicas de México, lo que corresponde al 60% de endemismos en este estado y al 3.9% del total de especies endémicas de México.

La distribución en este estado se encuentra en el NW, donde el tipo de vegetación predominante es el bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo y seco a semiseco. Se observa que a lo largo de la costa donde existen dunas, se distribuyen algunas especies de nopales silvestres. Al S, E y NE, donde predomina el bosque tropical subcaducifolio, se observan algunas áreas con nopales. Cabe resaltar que Yucatán es un estado con clima cálido, donde se distribuyen de manera más amplia cuatro especies del género *Nopalea*, mas adaptadas a condiciones de mayor humedad.

Yucatán cuenta con siete ANP's y en tres se distribuyen nopales silvestres: En el parque nacional: “Dzibilchantun”, con tres especies de nopales: *Nopalea gaumeri*, *N. inaperta* y *Opuntia stricta*; en la ANP “Ría Lagartos”, con dos especies: *N. gaumeri* y *O. stricta*; y en “Ría Celestún” una especie: *O. stricta*.

Zacatecas

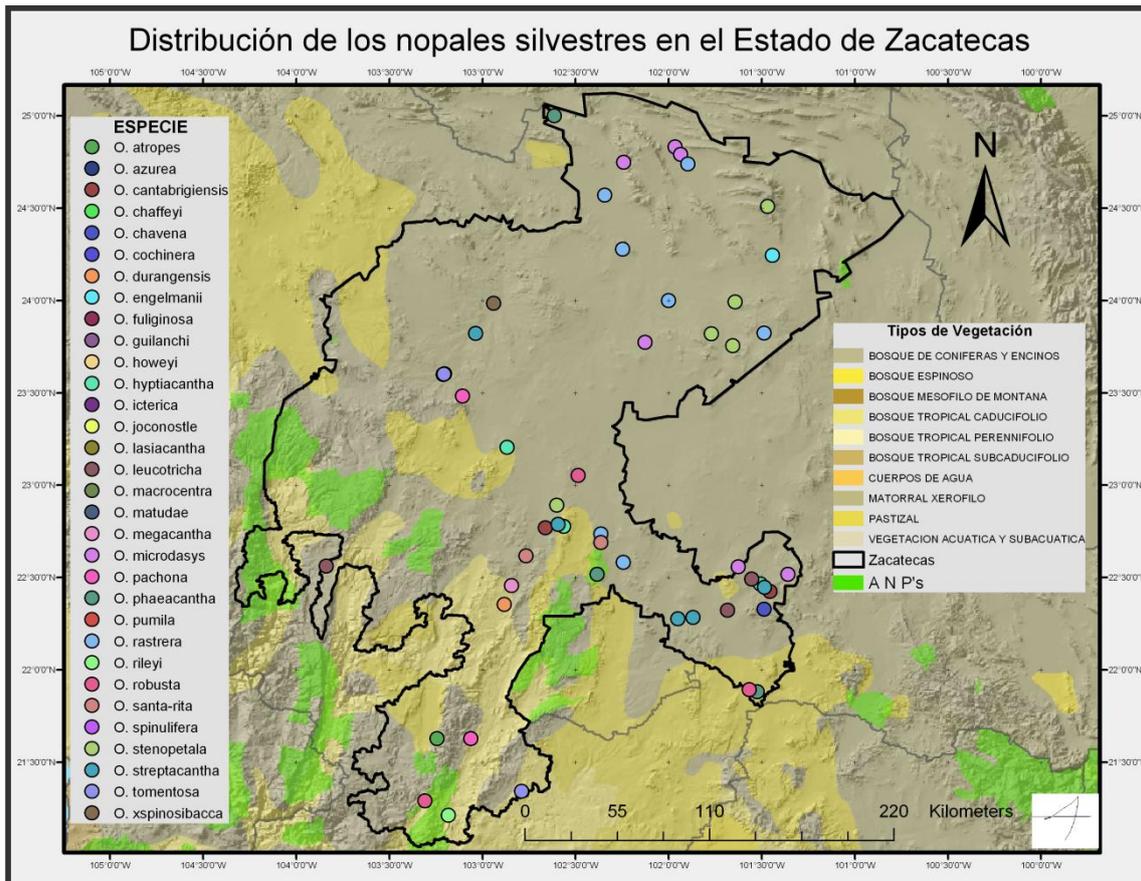


Figura 33. Distribución de los nopales silvestres en el Estado de Zacatecas.

Zacatecas tiene una extensión de 75,539km², ocupa el 8° lugar de la superficie de México, lo que equivale al 3.9% del total del país. Cuenta con 120 registros en la base de datos “ESNM”, de 32 especies del género *Opuntia* (31.7% del total de nopales silvestres), de las cuales 25 son endémicas de México, lo que corresponde al 78.1% de endemismos en este estado y al 32.5% del total de especies endémicas de México. Cuenta con una especie microendémica considerada por Scheinvar *et al.* (2010) *O. chaffeyi*, que se distribuye exclusivamente en el N de Zacatecas.

La distribución geográfica en Zacatecas se encuentra marcadamente en el centro y N del estado, donde predomina el matorral xerófilo con clima seco y semiseco. La Dra. Léia Scheinvar (*Com. pers.*) manifiesta que una región muy importante de distribución de especies silvestres productoras de tunas y xoconostles está en el NW del estado, en el municipio de Saín Alto, donde existen



los últimos relictos de nopaleras centenarias que pertenecen al área que se conocía como “Gran Tunal” en la época prehispánica; presenta una riqueza de 18 especies de nopales: *Opuntia cantabrigiensis*, *O. chavena*, *O. cochinera*, *O. durangensis*, *O. guilanchi*, *O. joconostle*, *O. leucotricha*, *O. matudae*, *O. megacantha*, *O. oligacantha*, *O. pachona*, *O. rastrera*, *O. scheeri*, *O. spinulifera*, *O. streptacantha*, *O. tomentosa* y dos especies nuevas que todavía no han sido publicadas (*O. gallegiana* sp. Nov. y *O. sp.* Nov.). Otras regiones importantes son el S, donde se distribuyen en bosque tropical caducifolio con clima cálido subhúmedo y algunas zonas con bosques de coníferas y encinos, con climas templado subhúmedo y el SE donde predomina el matorral xerófilo con clima seco y semiseco y que actualmente es uno de los centros de cultivo y producción de tuna para exportación más importante de México.

Zacatecas cuenta con cuatro ANP's, de las cuales solo dos resguardan nopales silvestres: la llamada “Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit” con dos especies: *Opuntia engelmannii* y *O. robusta*; y la “Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 01 Pabellón” con una especie: *O. phaeacantha*.

5.3. Patrones de riqueza y distribución de los nopales silvestres mexicanos

Cuadro 4. Número de celdas con registros de nopales silvestres para la escala de 1º.

No. celdas	Porcentaje	No. ejemplares
73	28.07%	0
49	57.31%	1 - 25
23	8.85%	26 - 56
8	3.08%	68 - 119
7	2.69%	158 - 270
259	100%	4061

Cuadro 5. Número de celdas con registros de nopales silvestres para la escala de ½º.

No. celdas	Porcentaje	No. ejemplares
419	48.05%	0
385	44.15%	1-15
45	5.16%	16 - 37
14	1.61%	43 - 69
9	1.03%	72 - 125
872	100%	4061

En los cuadros 4 y 5 Se indica el número de registros por celda de nopales silvestres para las escala de 1º y ½º respectivamente. Para la escala de 1º se observa que, de un total de 259 celdas que cubren el territorio nacional, en 73 de ellas (28.07%) existe un vacío en la información ya que no hay ningún registro de nopales silvestres en estas zonas y por lo tanto ha sido nulo el trabajo de campo en estos lugares o no son propicios para el desarrollo de nopales; 149 de ellas (57.31%) poseen entre 1 - 25 registros; 23 (8.85%) tienen entre 26 - 56 registros; ocho (3.08%) albergan entre 68 - 119 registros y solo siete celdas (2.69%) tienen entre 158 - 270 registros. Para la escala de ½º, de un total de 872 celdas que cubren la superficie terrestre de México, 419 de ellas (48.05%) no presentan ningún ejemplar registrado; 385 (44.15%) poseen entre 1 - 15 registros; 45 (5.15%) tienen entre 16 - 37 registros; 14 (1.61%) albergan entre 43 - 69 registros y nueve (1.03%) tienen entre 72 - 125 registros.

Cuadro 6. Número de celdas con registros de nopales silvestres para la escala de 1°.

celdas	Porcentaje	especies
73	28.07%	0
128	49.24%	1 - 7
38	14.62%	8 - 17
19	7.30%	18 - 30
2	0.77%	38 - 39
259	100%	101

Cuadro 7. Número de celdas con registros de nopales silvestres para la escala de ½°.

No. celdas	Porcentaje	No. especies
419	48.05	0
314	36.01	1 - 4
83	9.51	5 - 9
36	4.14	10 - 17
20	2.29	19 - 29
872	100%	101

En los cuadros 6 y 7 Se indica el número de especies por celda de nopales silvestres para las escala de 1° y ½°. Para la escala de 1° se observa que, de un total de 259 celdas que cubren el territorio nacional, en 73 de ellas (28.07%) coincide con él vacío en la información en cuanto a registros y no hay ninguna especie de nopales silvestres en estas zonas debido posiblemente a las razones antes mencionadas; 128 de ellas (49.24%) poseen entre 1 - 7 especies; 38 (14.62%) tienen entre 8 - 17 especies; 19 (7.3%) albergan entre 18 y 30 especies y solo dos celdas (0.77%) tienen entre 38 - 39 especies. Para la escala de ½°, de un total de 872 celdas que cubren la superficie terrestre de México, 419 de ellas (48.05%) no presentan ninguna especies registrada; 314 (36.01%) poseen entre 1 - 4 especies; 83 (9.51%) tienen entre 5 - 9 especies; 36 (4.14%) albergan entre 10 - 17 especies y 20 (2.19%) tienen entre 19 - 29 especies. En conjunto se tiene que 71.93% del territorio, según su división en celdas de 1° registran al menos una especie, mientras que la proporción equivalente para celdas de ½° es 51.95%; estos resultados reflejan el importante esfuerzo que los botánicos han hecho a lo largo del país para documentar su riqueza florística, pero sin duda falta mucho trabajo por delante y eso se ve reflejado en las escalas, ya que conocemos con una muy buena aproximación el número de especies de nopales silvestres que hay en el país, pero si se aumenta la resolución y deseamos saber cuántas especies hay en

una determinada región, estado o municipio, entonces son evidentes las discontinuidades en el conocimiento de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, por eso se tiene que seguir explorando el país, principalmente en los lugares con poco o nulo trabajo de campo como son: La parte fronteriza con E.U.A., la Península de Baja California, la zona limítrofe entre Chihuahua y Durango el NW de Sonora, la parte W de la costa de Oaxaca, el S de la Península de Yucatán y la zona limítrofe de Chiapas y Tabasco.

En los mapas (Figuras 34 y 35) se muestran los patrones de riqueza conocida y abundancia de los nopales silvestres mexicanos, con base en los registros de herbario y el trabajo realizado en campo durante el proyecto GE005. Se observan los valores de riqueza por celda tanto a escala de 1º, como de ½º.

En el mapa (Figura 34) se observa que los lugares de mayor riqueza (38 – 39 especies) de nopales silvestres se ubican: En el S de San Luis Potosí, NE de Querétaro en la zona limítrofe con el estado de Guanajuato. Con una diversidad de 18-30 especies de nopales silvestres se observa en: SE y N de Zacatecas, SE de Tamaulipas, N de San Luis Potosí, E de Jalisco, Guanajuato, N del estado de México, SE de Puebla y NW de Oaxaca. Con una diversidad de 8 – 17 especies silvestres de nopales se observa en: S de Baja California Sur, NW de Sonora, centro de Chihuahua y límites entre Chihuahua y Coahuila, N de Sinaloa y límites con Sonora, NE y SW de Tamaulipas, S de Nuevo León, SE de Coahuila, Nayarit, Colima, centro de Zacatecas, N de Michoacán y límites con Jalisco y Guanajuato, límites entre Michoacán y Guerrero (Presa del Infiernillo), límites entre Hidalgo y Veracruz, NE de Guerrero, una parte de la costa de Oaxaca y NW de Chiapas límites con Oaxaca. El resto del país presenta una riqueza que va desde cero hasta siete especies, y se observa que para la escala de ½º hay un vacío de información mayor principalmente en el N y SE de la República Mexicana.

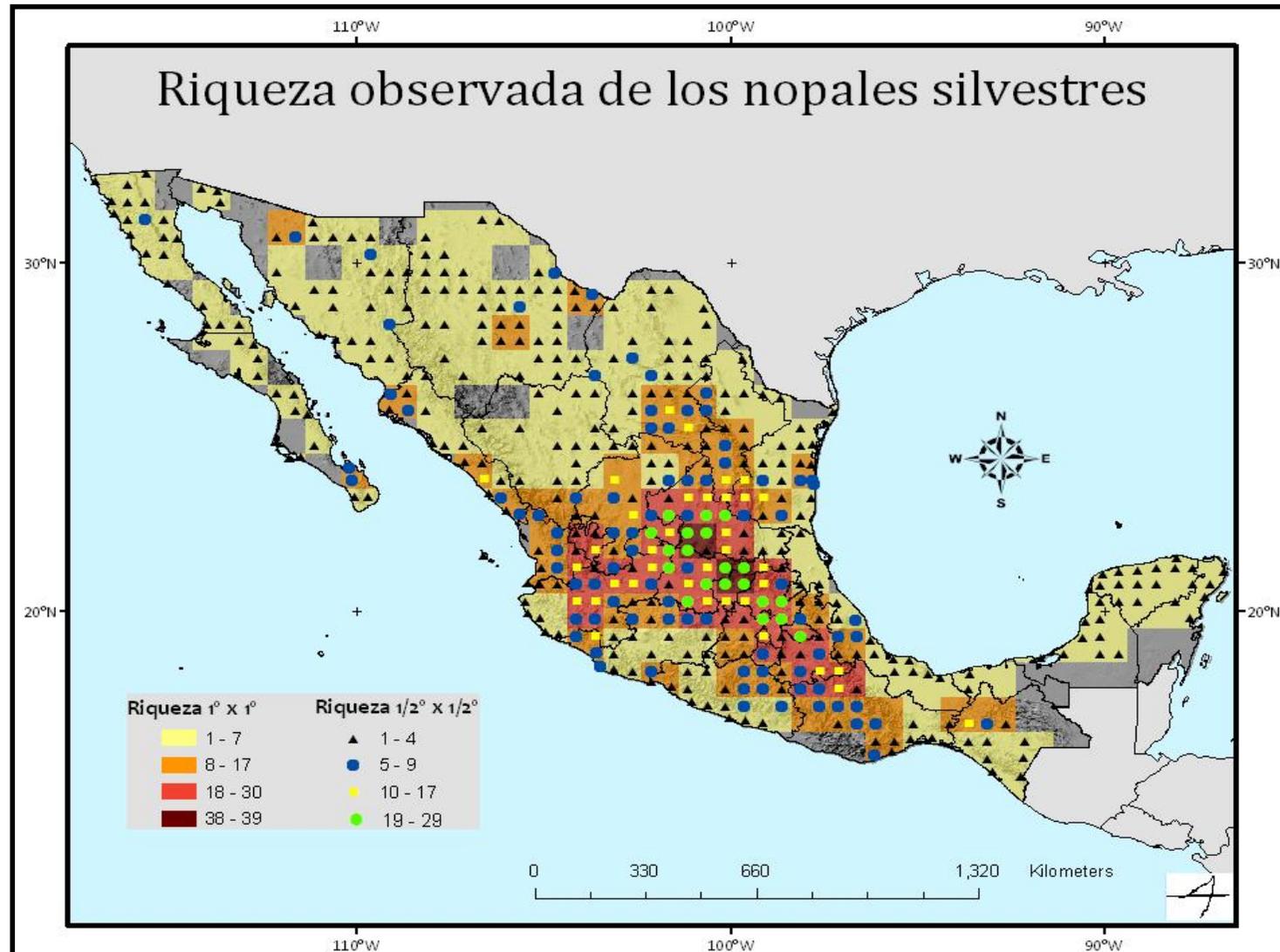


Figura 34. Patrones de riqueza de los nopales silvestres mexicanos.

En el mapa (figura 35), se indica la concentración de nopales, sin importar su especie. Se observa la presencia de 158 – 270 plantas en el centro y en los límites entre Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, en el S de San Luis Potosí, en los límites entre Guanajuato, Jalisco, Zacatecas y Aguascalientes, en el centro y N de Guanajuato y Querétaro (Sierra Gorda), en los límites entre el estado de México e Hidalgo. Con una concentración de 68 - 119 nopales silvestres se observa en el SW de Hidalgo (Valle del Mezquital), límites entre Jalisco y Guanajuato, centro de Jalisco, N de Michoacán, límites entre Hidalgo y Querétaro, S de Querétaro, N del estado de México, S del Distrito Federal, Morelos y los límites entre Puebla y Oaxaca. Con 26-56 nopales silvestres se observa en el N de Sinaloa, SE de Coahuila y límites con Nuevo León, S de Coahuila y límites con Zacatecas, límites entre Tamaulipas y San Luis Potosí, SW de Tamaulipas, W de San Luis Potosí y límites con Zacatecas, centro de Nayarit, en Jalisco límites con Nayarit y Zacatecas, S de San Luis Potosí, Colima, límites entre Michoacán y Jalisco, NE de Guerrero, límites entre Tlaxcala y Puebla, una pequeña zona en el centro de Veracruz y la costa W de Yucatán. De 1-25 registros de nopales silvestres se encuentran en casi todo el país, con la reserva de que el incremento del trabajo de campo podrá aportar nuevos datos.

En general se puede afirmar que los nopales silvestres se distribuyen en todo el territorio mexicano; sin embargo por la ubicación de las celdas con mayor diversidad, se observa una tendencia a concentrarse en el centro-norte del país (Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas, Jalisco, Hidalgo, Distrito Federal y norte del Estado de México) perteneciente al Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino), así como en la zona limítrofe entre Puebla y Oaxaca, SW de Tamaulipas, SE de Coahuila y S de Nuevo León. Estos lugares coinciden con las celdas con más ejemplares registrados. El uso de dos tamaños de cuadrícula permitió, a una escala macroecológica, dar un panorama general de la riqueza de especies conocida y se pueden identificar con mayor precisión los centros de concentración de especies, los cuales en el futuro podrán evaluarse para saber, por ejemplo, si también son sitios de concentración de especies endémicas o importantes para otros grupos vegetales y animales. Tal información incrementará su valor como sitios prioritarios para su conservación.

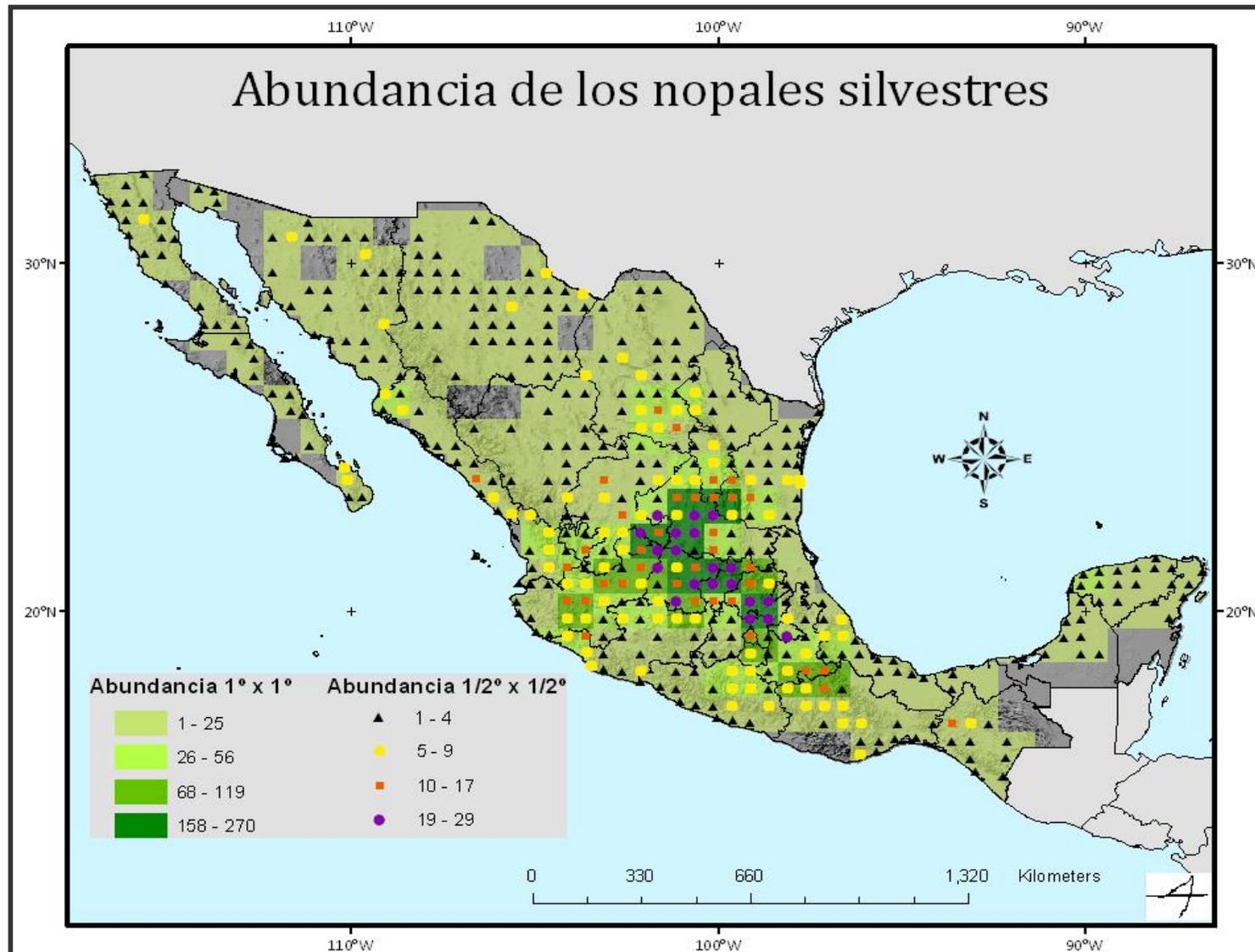


Figura 35. Patrones de abundancia de los nopales silvestres mexicanos.

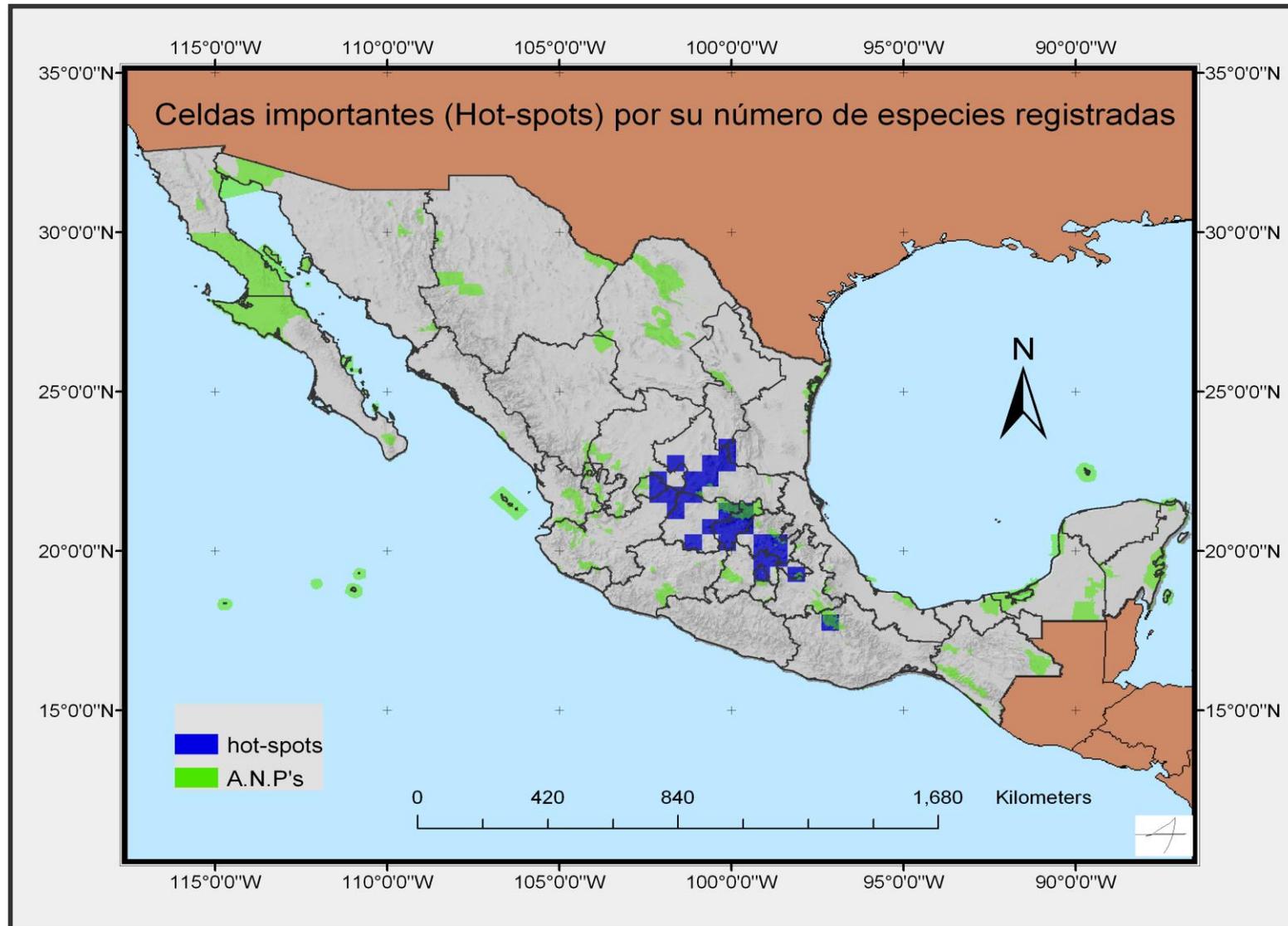


Figura 36. Celdas importantes (*Hot-spots*) para los nopales silvestres.

En la figura 36, se observa la ubicación de los sitios de alta riqueza de especies identificados como sitios importantes (*Hot-spots*) por la diversidad encontrada, mayor a 20 especies. Sobreponiendo el mapa de Áreas Naturales Protegidas (CONANP 2004), se observa si estos sitios se encuentran o no dentro de un ANP.

En los límites entre Puebla y Oaxaca hay un área con alta concentración de especies y la celda correspondiente se encuentra dentro de un ANP (Reserva de la Biosfera de Tehuacán–Cuicatlán), por esto se esperaría que estuvieran en buen estado de conservación las nopaleras silvestres que ahí se encuentran, pero en esta área hay actividades humanas que perturban las condiciones naturales.

En la zona central de México (Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México y Tlaxcala) se localizan cinco celdas, pero esta riqueza está concentrada en áreas muy pequeñas, ya que al ser una zona muy fragmentada las especies no se distribuyen de manera uniforme en todo el lugar. En esta región las ANP's que destacan como zonas de resguardo de los nopales son: la Barranca de Metztitlán que es un área de contacto entre la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico Transmexicano y la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel que aunque no es una ANP federal es el lugar más importante de resguardo de nopales silvestres en la capital del país.

En el S de Guanajuato, centro y S de Querétaro, NE de Guanajuato y N de Querétaro (Sierra Gorda), existen seis áreas catalogadas en este trabajo como de alta diversidad, pero lamentablemente existen muy pocas ANP's que resguarden la diversidad de nopales existentes y se encuentran vulnerables a las actividades antropogénicas, se observa que solo hay dos ANP's importantes en cuanto a su extensión (Las Reservas de la Biosfera de la Sierra Gorda de Querétaro y la Sierra Gorda de Guanajuato).

En el N de México hay 11 celdas importantes: que se sitúan en la zona limítrofe entre Tamaulipas, Nuevo León y San Luis Potosí; y la zona donde convergen los estados de Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas y San Luis Potosí, pero



de igual manera que en la mayoría de las zonas con alta riqueza de especies nativas, no se cuenta con un ANP en matorrales xerófilos que proteja esa diversidad. San Luis Potosí es el estado con mayor diversidad de especies nativas de nopales, cuenta con ANP's muy pequeñas, con respecto al superficie del estado, insuficientes y que no contienen representada la riqueza total de las especies existentes en el estado.

5.4. Representatividad de los nopales silvestres en las ANP's

En la Figura 37 se observa una gráfica con el número y el porcentaje de ANP's que contienen nopales silvestres, donde 174 ANP's representan el 100%, de las cuales solo 47 ANP's (27%) tienen registradas al menos una especie y 127 ANP's que corresponden al 73% carecen de información sobre nopales silvestres.

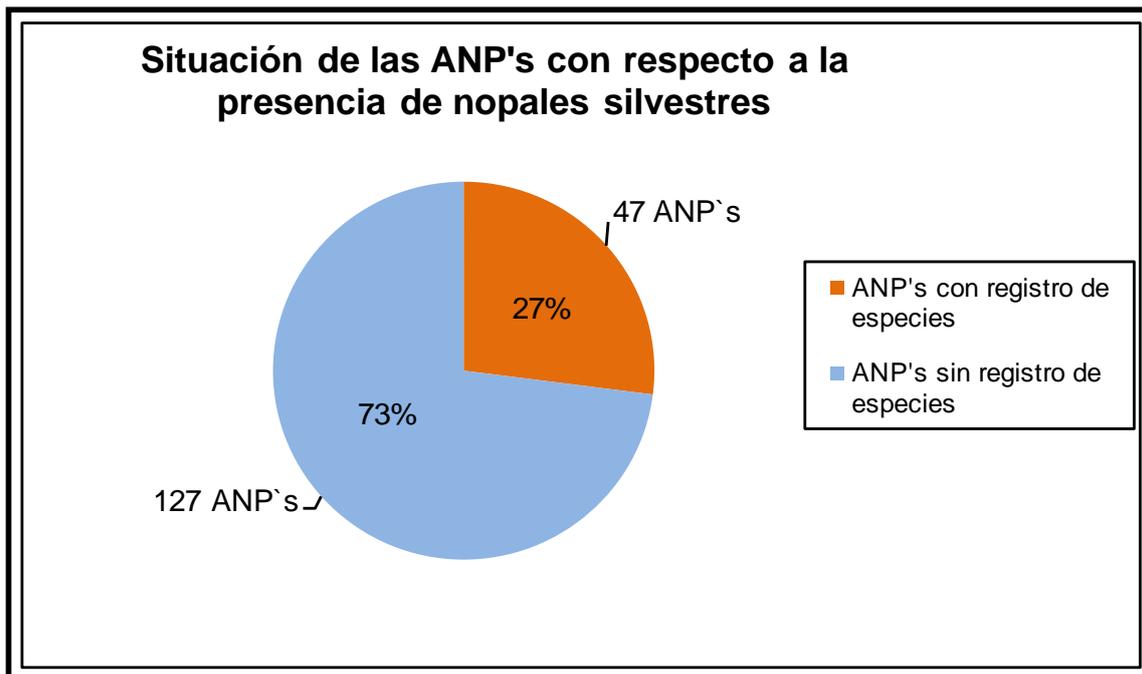


Figura 37. Cantidad de ANP's con al menos un registro de nopales silvestres en su interior

Aunque en México contamos con un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas que consta de 174 áreas, aun está lejos de ser óptimo. Sin duda, se requiere incorporar nuevas áreas, incluyendo reservas campesinas, cañadas y corredores naturales, entre otros que protejan en mayor medida los recursos naturales que posee el país (Escalante *et al.* 2002). Se deben definir sitios de gran valor biológico, con alta riqueza de especies, que posean un elevado número de endémismos o especies raras para que se puedan proponer como sitios prioritarios para establecer las medidas de control y manejo, que cualquier sitio requiere para conservar a largo plazo la biodiversidad existente. Con base en la metodología aplicada en este trabajo, los patrones biogeográficos de un grupo de organismos podría servir como un criterio de conservación o como una primera aproximación para saber si también son de especial importancia para otros grupos

biológicos, ya que si asumimos que las distribuciones de los organismos no obedecen al azar, sino a una conjunción de factores ecológicos e históricos, muchos de los procesos que han operado y operan actualmente, no solo afectan a los nopales, sino que probablemente afectan a muchos otros grupos de organismos, los cuales también pueden exhibir los mismos patrones.

En el cuadro 8 se muestran las 47 ANP's que albergan al menos una especie de nopales silvestres. Las ANP's que mas especies protegen son: La Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán localizada en los límites entre Puebla y Oaxaca con 21 especies; El Área de Protección de Recursos Naturales Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit localizada en los estados de Durango, Jalisco, Nayarit, Aguascalientes y Zacatecas con 21 especies; y la Reserva de la Biosfera de la Sierra Gorda en Querétaro con 30. Estas áreas coinciden con algunos de los sitios donde hay más registros de nopales silvestres y que además presentan una riqueza elevada. Hay cinco ANP's que cada una alberga tres especies, 10 ANP's con dos especies cada una y 14 ANP's con tan solo una especie, esto posiblemente debido a que el clima y tipo de vegetación en que se localizan las ANP's no sean los adecuados para los nopales y solo están registradas especies que se han adaptado a las condiciones que cada lugar les ofrece.

Cuadro 8. Cantidad de especies en ANP's con registro de nopales.

Nombre del ANP	Número de especies
Bahía de Loreto	1
Cofre de Perote	1
Costa Occ. De Isla mujeres, Pta Cancún y Pta Nizuc	1
El Veladero	1
Huatulco	1
Islas de la Bahía de Chamela	1
Islas del Golfo de California	1
Islas Marías	1
Los Petenes	1
Los Tuxtlas	1
Playa de Maruata y Colola	1
Ría celestún	1
Tula	1
Xicoténcatl	1
Cascada de Bassaseachic	2
Chamela-Cuixmala	2
Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 01 Pabellón	2



Continua	
Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	2
El Cimatarío	2
El Jabalí	2
Laguna de Términos	2
Ría Lagartos	2
Sierra de Quila	2
Zicuirán-Infiernillo	2
Cañón del Sumidero	3
Dzibilchantun	3
La Primavera	3
Los Mármoles	3
Tutuaca	3
El Pinacate y Gran Desierto de Altar	4
El Vizcaíno	4
El Tepozteco	5
La Sepultura	5
Sierra la Laguna	5
Valle de los Cirios	5
Cañón de Santa Elena	6
Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 004 Don Martín	6
Mapimí	6
Sierra de Manantlán	6
Barranca de Metztitlán	8
Sierra de Huautla	8
Sierra de Álvarez	9
Laguna Madre y Delta del Río Bravo	10
Sierra Gorda de Guanajuato	15
Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit	21
Tehuacán-Cuicatlán	21
Sierra Gorda	30

En la Figura 38 Se observa que de las 101 especies de nopales silvestres conocidas en México, 74 (73%) se encuentran dentro de algún ANP, mientras que 27 especies (27%) no ocurren dentro de un ANP. Hay 56 especies (72.7%) de las 77 endémicas de México y 18 especies tienen una distribución mas amplia en el continente Americano (ver cuadro 12).

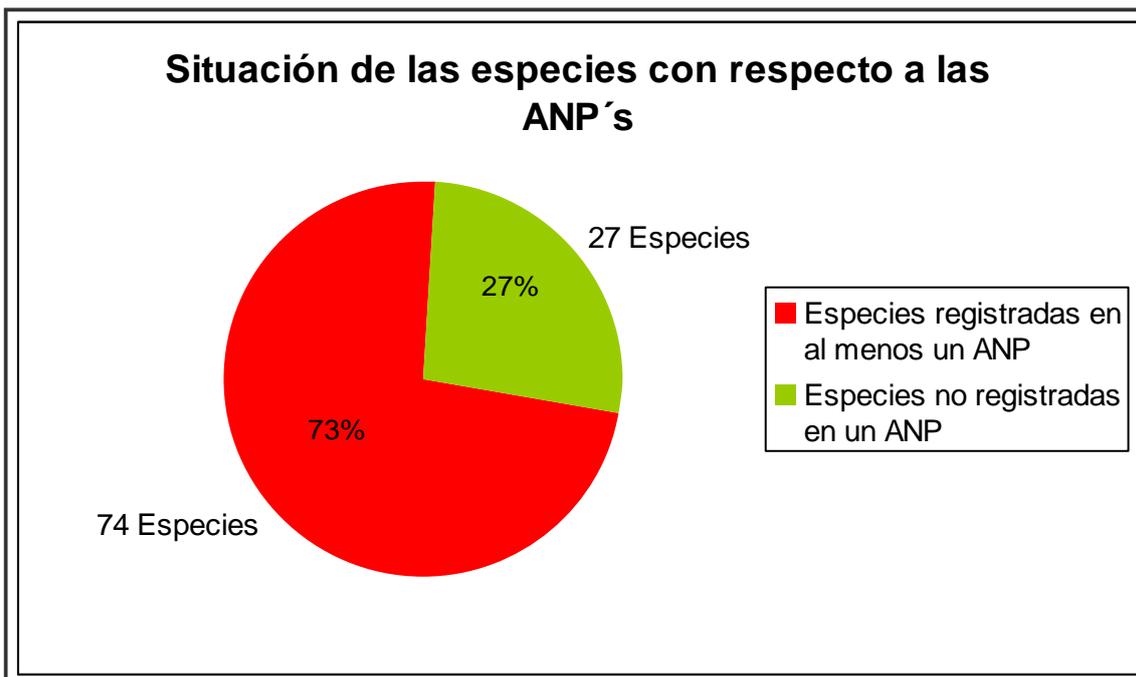


Figura 38. Especies con al menos un registro dentro de un ANP

Cuadro 9. Cantidad de ANP's en las que se distribuyen las especies de nopales silvestres (*) endémicas y () microendémicas.**

ESPECIE	ANP's	ESPECIE	ANP's
<i>O. phaeacantha</i>	11	<i>O. guerrana</i> *	2
<i>O. stricta</i>	11	<i>O. guilanchi</i> *	2
<i>O. puberula</i>	10	<i>O. hyptiacantha</i> *	2
<i>O. fuliginosa</i> *	9	<i>O. joconostle</i> *	2
<i>O. robusta</i> *	9	<i>O. lagunae</i> **	2
<i>O. engelmannii</i>	8	<i>O. pachyrhiza</i> *	2
<i>O. icterica</i> *	8	<i>O. polyacantha</i>	2
<i>O. macrocentra</i>	7	<i>O. rastrera</i> *	2
<i>O. atropes</i> *	6	<i>O. rileyi</i> *	2
<i>O. cantabrigiensis</i> *	6	<i>N. dejecta</i> *	1
<i>O. streptacantha</i> *	6	<i>O. aciculata</i> *	1
<i>O. decumbens</i> *	5	<i>O. atrispina</i>	1
<i>O. pubescens</i>	5	<i>O. basilaris</i>	1
<i>O. pumila</i> *	5	<i>O. bensonii</i> *	1
<i>N. nuda</i> *	4	<i>O. chavena</i> *	1
<i>O. chlorotica</i>	4	<i>O. chiangiana</i> *	1
<i>O. excelsa</i> *	4	<i>O. cretochaeta</i> *	1
<i>O. lasiacantha</i> *	4	<i>O. depressa</i> *	1
<i>O. leucotricha</i> *	4	<i>O. durangensis</i> *	1
<i>O. microdasys</i>	4	<i>O. elizondoana</i> *	1
<i>O. stenopetala</i> *	4	<i>O. gosseliniana</i>	1
<i>O. tomentosa</i>	4	<i>O. huajapensis</i> *	1
<i>N. gaumeri</i> *	3	<i>O. macdougaliana</i> *	1

Continua

<i>N. karwinskiana</i> *	3	<i>O. maxonii</i> *	1
<i>O. larreyi</i> *	3	<i>O. nigrita</i> *	1
<i>O. littoralis</i>	3	<i>O. oligacantha</i> *	1
<i>O. macrorhiza</i>	3	<i>O. olmeca</i> **	1
<i>O. megacantha</i> *	3	<i>O. pachona</i> *	1
<i>O. tapona</i> **	3	<i>O. parviclada</i> *	1
<i>O. undulata</i> *	3	<i>O. pilifera</i> *	1
<i>O. velutina</i> *	3	<i>O. pottsii</i>	1
<i>N. auberi</i> *	2	<i>O. pycnantha</i> **	1
<i>N. escuinclensis</i>	2	<i>O. santa-rita</i>	1
<i>N. inaperta</i> *	2	<i>O. scheeri</i> *	1
<i>O. azurea</i> *	2	<i>O. spraguei</i> *	1
<i>O. bravoana</i> **	2	<i>O. tehuacana</i> *	1
<i>O. feroacantha</i> *	2	<i>O. zamudioi</i> *	1

En el cuadro 9 se muestran las especies de nopales silvestres (se indica si son endémicas o microendémicas) y el número de ANP's que las resguardan. Las especies mejor representadas son: *Opuntia phaeacantha* y *O. stricta* que tienen registro en 11 ANP's, *O. puberula* con registro en 10 ANP's, las tres especies no son endémicas de México ya que se distribuyen ampliamente en el continente Americano (Scheinvar *et al* 2010); *Opuntia fuliginosa* y *O. robusta* se distribuyen en nueve ANP's y son especies endémicas de México, pero con una amplia distribución en el territorio nacional. Hay 52 especies representadas en tres o menos ANP's y están repartidas de la siguiente forma: nueve especies tienen registro en tres ANP's; 15 especies se distribuyen en dos ANP's y 28 especies están registradas en solo una ANP. Esto se debe posiblemente a que 43 de estos *taxa* son endémicos de México y presentan una distribución restringida; por lo que no pueden estar registradas en áreas muy distantes, y cinco de estas 43 especies son microendémicas (*O. bravoana*, *O. lagunae*, *O. olmeca*, *O. pycnantha*, y *O. tapona*), lo que es de vital importancia ya que sus áreas de distribución son muy reducidas y si se deteriora su hábitat corren el riesgo de desaparecer. En general los nopales silvestres están pobremente representados dentro de las ANP's, a pesar de que México es el país con mas ocurrencia de especies y estar ampliamente distribuidas en todo el territorio nacional. Existe la dificultad de garantizar una representatividad suficiente de la biodiversidad del planeta mediante el solo establecimiento de una red global de ANP's. No solo el elevado número de especies sino sus innumerables patrones de distribución hacen prácticamente imposible



salvaguardar conjuntos representativos de organismos dentro de un universo cuyo desconocimiento es todavía descomunal (Toledo 2005).

Aún cuando el sistema global de ANP's ha rebasado el 10% del total de la superficie terrestre recomendado hace una década (hoy se aproxima al 12%), existen serias dudas acerca de si esta superficie ya garantiza una mínima representatividad de la biodiversidad total del planeta. Por ejemplo un estudio reciente (Brooks *et al*, 2004) ha revelado que el sistema global de ANP's no alcanza a cubrir más que mínimamente los principales biomas del mundo. Salvo el caso de los bosques templados de coníferas cuya superficie está protegida en un 25% y la de los pastizales y sabanas cubierta en un 18%, el resto apenas está protegido entre un 16 y 10% (cuatro biomas) y un 10% o menos (siete biomas) de sus respectivas superficies.

5.5. Riqueza Estimada

La riqueza de nopales silvestres estimada se calculó para las escalas de 1° y ½°, con los índices no paramétricos: ICE y Chao 2, que requieren solamente datos de presencia-ausencia y vienen integrados dentro del “software” “Estimates 8.20” (Colwell, 2005), el cual se ha empleado eficientemente para estimar la riqueza de especies de un área a partir de matrices de incidencia de especies en muestras.

Con los estimadores no paramétricos ICE y Chao 2 se obtuvieron las graficas de las figuras 39 y 40, donde se muestra la tendencia que presentan la acumulación de especies observadas (S_{obs}) y estimadas para cada índice (ICE (A) y Chao 2 (B)). La riqueza estimada y observada, así como la desviación estándar de todo el país, con cada índice y para cada escala, se observa en el cuadro 10.

Cuadro 10. Riqueza observada y estimada de especies de nopales silvestres para la república Mexicana.

Escala	Estimadores	Riqueza estimada	SD limite inferior	SD limite superior	SD	Complementariedad
1°	ICE	105	-	-	-	96%
	Chao 2	105	102	120	4	96%
½°	ICE	105	-	-	-	96%
	Chao 2	108	103	130	6	94%
Total conocido	S_{obs}	101	-	-	-	100%

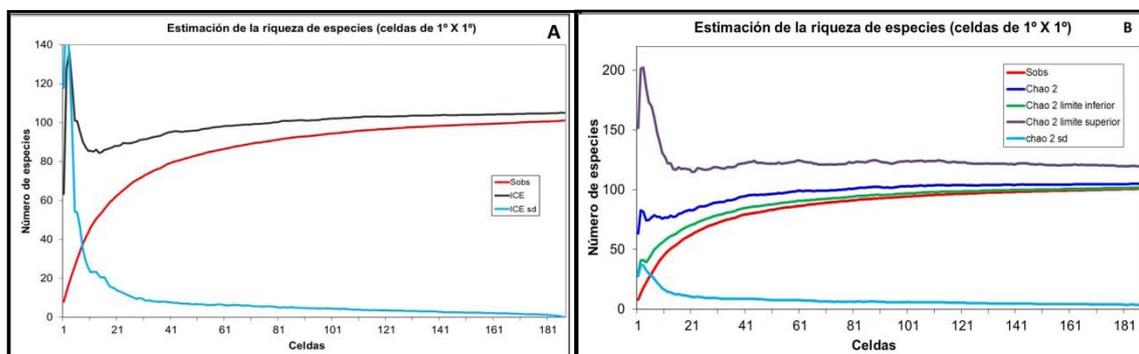


Figura 39. Gráfica de Estimación de la riqueza de especies de nopales silvestres para la república Mexicana en la escala de 1° con (A) ICE y (B) Chao 2

En la escala de 1° Figura 39 para ICE (A). Se observa que conforme aumenta riqueza observada (S_{obs}) también la riqueza estimada aumenta, alrededor de la muestra 110 se estabilizan ambas líneas y toman una tendencia asintótica. Por otro lado la desviación estándar al principio es muy grande debido a que muchas celdas carecen de información pero conforme se procesan los cuadrantes la desviación estándar decrece hasta convertirse en cero, lo que indica que se podrían encontrar cuatro especies nuevas y completar 105 especies para que el inventario de nopales silvestres este completo. Para Chao 2 (B), a partir de la muestra 90 la línea que representa la riqueza estimada promedio muestra una tendencia a volverse asintótica. Al final la línea promedio indica que se podrían encontrar cuatro especies mas, se observan también los limites superior e inferior de la desviación estándar donde se amplía el número de especies que podrían existir, este va 102 - 120, esto podría tomarse como cierto debido a que en la actualidad se conocen 101 especies en México y algunas mas que están en fase de publicación como ya se ha mencionado en este trabajo. Existe una desviación estándar que al principio es mayor pero al final del análisis esta permanece prácticamente sin variación.

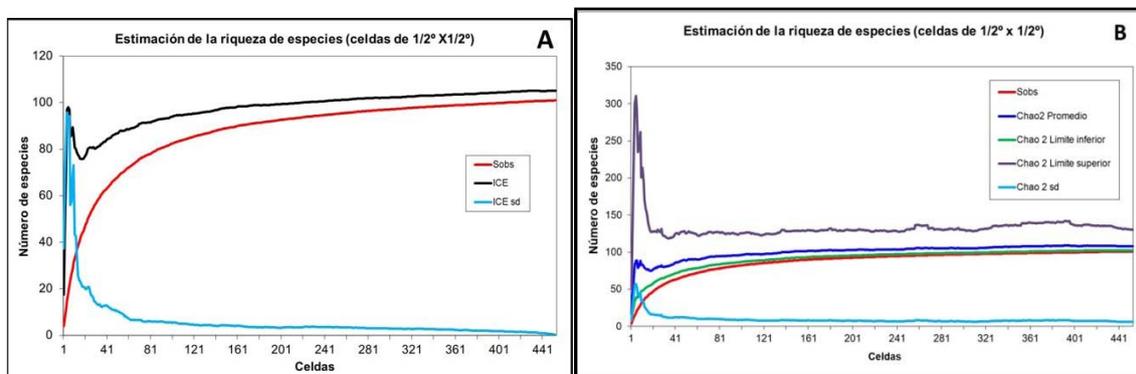


Figura 40. Gráfica de Estimación de la riqueza de especies de nopales silvestres para la república Mexicana en la escala de $\frac{1}{2}^\circ$ con (A) ICE y (B) Chao 2

En la escala de $\frac{1}{2}^\circ$ Figura 40 para ICE (A), prácticamente arroja los mismos resultados que para la escala de 1°, esto indica que a pesar de que los datos fueron analizados a una escala geográfica distinta y que el número de muestras aumento significativamente se sigue conservando la tendencia de que aparezcan cuatro especies nuevas. La desviación estándar va decreciendo y llega a cero conforme la S_{obs} y la riqueza estimada se estabilizan. Para Chao 2 (B) se observa que la cantidad promedio de especies nuevas son siete, sin embargo es el estimador con mayor

intervalo de incertidumbre ya que al aumentar la escala y dejar mas cuadrantes sin información nos arroja unos limites muy amplios que van de 103-130, aunque si se toma en cuenta como la desviación estándar se hace mas pequeña, se puede llegar a la conclusión de que el inventario esta casi completo. Longino *et. Al* (2002) encontraron que los estimadores ICE y Chao 2 son los mejores estimadores de riqueza, ya que presentaron curvas de acumulación con un crecimiento inicial rápido y alcanzaron una asíntota definida. En general, los estimadores reflejan una mayor riqueza que la observada, el presente estudio logró representar entre 93-96% de la riqueza total de nopales silvestres (cuadro 11). A partir de las gráficas se infiere la posibilidad de que se pueda encontrar especies nuevas, aumentando el esfuerzo de recolecta, pues se observan sitios donde se necesitan esfuerzos adicionales para documentar mejor su riqueza florística. Es necesario incrementar el trabajo de campo para hacer estudios más precisos y establecer relaciones entre los parámetros ambientales, la riqueza conocida y estimada.

En la actualidad es posible hacer ejercicios de estimación de la riqueza biológica porque se cuenta con información significativa, en la base de datos "ESNM" que cuenta con 5587 registros. Los estimadores de riqueza aquí utilizados, solo proporcionan datos acerca de cuantas especies podrían existir en un conjunto de muestras, pero no proporcionan datos específicos acerca de cuales especies son y en que zona en particular se localizan. Esta información se obtendrá con el trabajo florístico y taxonómico rutinario.

6. Conclusiones

Los herbarios contienen valiosas informaciones ecológicas, taxonómicas y geográficas de las especies. Deben ser incrementados con registros de nuevas colectas de campo ya que existe un sesgo de recolectas hacia unas pocas especies por lo que se tiene que aumentar el trabajo de campo recolectando las especies que tienen menos de 15 registros en los herbarios, con énfasis en las endémicas y de distribución restringida (microendémicas).

Ha existido un importante esfuerzo por parte de los botánicos a lo largo del país para documentar su riqueza florística, pero sin duda falta mucho trabajo por delante pues son evidentes las discontinuidades en el conocimiento de la distribución, abundancia y riqueza de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, poco representados en los herbarios mexicanos, principalmente cuando se habla de zonas de difícil acceso o sitios con poco o nulo trabajo de campo. En el sureste del país, en estados poco trabajados (Chiapas. y Oaxaca), se encuentra la mayor diversidad del género *Nopalea*. Es necesario incrementar el esfuerzo de recolecta en estos estados.

La mayor diversidad de nopales silvestres del género *Opuntia* se encuentra en el centro-Norte y occidente del país (Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas, Jalisco, Hidalgo, Distrito Federal y N del Estado de México), así como la zona limítrofe entre Puebla y Oaxaca. El tamaño del Estado no influye en la riqueza de especies y si el tipo de clima y vegetación.

Hoy en día son pocas las nopaleras existentes en la república Mexicana, por lo que deben ser inventariadas y oficialmente protegidas, en colaboración con sus pobladores que tienen que obtener un beneficio económico por hacerlo, así como el permiso de explotar racionalmente, a la par de conservar las nopaleras ya que muchas especies estarán en peligro de extinción en un futuro próximo, debido al impacto negativo de las actividades humanas y al efecto del cambio climático sobre sus ambientes naturales.

Aunque en México contamos con un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas que consta de 174 áreas, la protección de estas áreas aun está lejos de ser óptimo. Sin duda, se requiere incorporar nuevas áreas, incluyendo ejidos de campesinos, cañadas y corredores naturales entre otros, que protejan mayor superficie de los recursos naturales que posee el país. Se deberán tomar en consideración los patrones de distribución y riqueza de los nopales silvestres mexicanos, especialmente si se quiere preservar para las futuras generaciones la diversidad y riqueza de las especies.

Las ANP's deben ser objeto de especial atención de las autoridades gubernamentales federales, estatales y municipales, y contar con la colaboración de la población e instituciones de enseñanza e investigación, para conservar en buen estado las nopaleras silvestres que ahí se encuentran, proponiendo un manejo sustentable de estos recursos vegetales que se encuentran vulnerables a las actividades antropogénicas que se realizan en estas áreas y que perturban las condiciones naturales, concientizándolos de la importancia ecológica y económica de las nopaleras para la conservación de las zonas semiáridas y áridas del país.

Las gráficas de acumulación de especies (gráficas 39 y 40 y cuadro 10) indican que en México existe la posibilidad de que se encuentren entre 105-108 especies, aunque se reconoce en la actualidad un total de 101 especies. Para esto es necesario incrementar el esfuerzo de recolecta, pues hay sitios donde se debe documentar mejor su riqueza florística. Los estimadores de riqueza aquí utilizados solo proporcionan datos acerca de cuantas especies podrían existir en la república Mexicana y no proporcionan datos específicos acerca de cuáles especies son y donde se encuentran. Esta información se obtendrá con el trabajo florístico y taxonómico necesario.

Considerando que en la NOM-059-Ecol-2001 (2002) solo están referidas tres *taxa* de nopales mexicanos (dos especies y una subespecie de *Opuntia*), es importante incluir todas las especies endémicas de México, en especial las microendémicas, tomando en cuenta un previo estudio MER.



7. Bibliografía

- Alarcón F., J. Flores & R. Román. 1993. Plantas medicinales usadas en el control de la diabetes mellitus. *Ciencia* **44**: 363-381.
- Anderson E. F. 2001. *The Cactus Family*. Timber Press. Portland, Oregon. USA, 776 p.
- Arriaga L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez & E. Loa (coordinadores). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México DF, 609 p.
- Baker M. A., W. Mohlenbock & D. J. Pinkava. 1985. A comparison of two new methods of preparing cacti and other stem succulents for standar herbarium samples. *Taxon* **34**(1): 118-120.
- Bárcenas L. R. 1999. *Patrones de distribución de cactáceas en el estado de Guanajuato*, Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF, 36 p.
- Barthlot W. & D. R. Hunt. 1993. "Cactaceae" K. Kubitzki, *The families and genera of vascular plants*. Vol. 2. Springer-Verlag. Berlín, pp. 161-197.
- Benson L. 1969. *The Cacti of Arizona*. University of Arizona Press. Tucson Arizona, 218 p.
- Benson L. 1982. *The Cacti of the United States and Canada*. Stanford University Press. Stanford California, 1039 p.
- Bravo H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol. 1. UNAM. México DF, pp. 235 – 351.
- Bravo H. & L. Scheinvar. 1999. *El interesante mundo de las cactáceas*. FCE. México DF, 233 p.
- Brooks T. M., M. I. Bakarr, T. Boucher, G. A. B. da Fonseca, C. Hilton-Taylor, J. M. Hoekstra, T. Mortiz, S. Olivieri, J. Parrish, R. L. Pressey, A. S. I. Rodrigues, W. Sechrest, A. Stattersfield, W. Straham & S. N. Stuart. 2004. Coverage provided by the global protected-area system: is it enough?. *BioScience* **54**(12):1081-1091.
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species). 2007 *Apéndices I, II y III de la Convención Washington D. C. EE.UU.* <<http://www.cites.org>> Consultado en Noviembre de 2009.



- Clover E. U. 1952. Methods of collecting cacti for herbarium and botanical garden. *Cact. Succ. J. AMER.* **24**:72-75.
- Colin J., P. Maeda & E. Muñoz. 2006. Análisis espacial de la riqueza de especies. CONABIO. México DF, *Biodiversitas* **68**: 6-10.
- Colwell R. K. 2005. *Estimates: statistical estimation of species richness and shared species for samples. Versión 8.2.* Guía de usuario y aplicación publicada en: <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>>.
- Colwell R. K. & J. A. Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series B)* **345**: 101-118.
- CONABIO. 1998. *La Diversidad Biológica de México: Estudio del País.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- CONABIO. 2005. *División Política Estatal. Escala 1:1000000.* Extraído de Conjunto de Datos vectoriales topográficos y toponímicos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000. México DF.
- CONANP. 2007. *Cobertura de las Áreas Naturales Protegidas Federales de México.* Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas SEMARNAT, Morelia Michoacán, <<http://www.conanp.gob.mx/sig>> Consultado en Febrero de 2009.
- Cronquist A. 1981. *An integrated system of classification of flowering plants.* Columbia University Press. Nueva York, 1262 p.
- Dirzo R. 1990, La Biodiversidad como Crisis Ecológica Actual: ¿Qué sabemos? En: *Ecología y Conservación en México* (Soberón J. Ed.). UNAM. México DF, *Revista especial Ciencias* **4**: 48-55.
- Erwin T. 1991. An evolutionary basis of conservation strategies. *Science* **253**: 750-753.
- Escalante T. 2003, ¿Cuántas especies hay?: Los estimadores no paramétricos de chao. *Revista Elementos* **52**: 53-56.
- Escalante T., D. Espinosa & J. J. Morrone. 2002. Patrones de distribución geográfica de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)* **87**: 47-65.
- García E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.* Offset Larrios. México DF, 217 p.



- Gaston K. J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* **405**: 220-228.
- Gibbs R., G. E., E. Retief & L. Smook. 1984. Intensity of plant collecting in southern Africa. *Bothalia* **15**: 131-138.
- Gibson A. C., K. C. Spencer, R. Bajaj & J. L. McLaughlin. 1986. The ever-changing landscape of cactus systematics. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **73**: 532-555.
- Golubov J., M. C. Mandujano & F. Mandujano. 2005. Diversidad alfa y beta en *Opuntia* y *Agave*, en G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (eds.), *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa, pp. 221-230.
- Gómez H. C. 1998. *Diversidad, distribución y abundancia de cactáceas en la región de Mier y Noriega México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF, 49 pp.
- González O. J. 1929. Cactáceas nuevas de Sinaloa. México. *Revista Mexicana de Biología* **6**: 189-199.
- González D. A., M. E. Riojas L. & H. J. Arreola. 2001. *El género Opuntia en Jalisco. Guía de campo*. Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Zapopan Jalisco, 135 p.
- Guzmán U. L., S. Arias y P. Dávila. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas. México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, 315 p.
- Hegwood D. A. 1990. Human health discoveries with *Opuntia* sp. (prickly pear). *Hortscience* **25**: 1515-1516.
- Hernández H. M. & R. T. Bárcenas. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. *Conservation Biology* **9**: 1176-1188.
- Hernández H. M. & R. T. Bárcenas. 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and conservation. *Conservation Biology* **10**: 1200-1209.
- Hernández H. M. & H. Godínez. 1994 Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* **26**:33-52.



- Hijmans R. J., M. E. Cruz & L. Guarino. 2009. *DIVA-GIS (version 7.1.7)*. Free mapping Program. available from <<http://www.diva-gis.org>>.
- Hunt D. R. 1991. Stabilization of names in succulent plants. In *Regnum Vegetabile: Vol. 123. Improving the stability of names: needs and options*. D. L. Hawksworth (ed.).
- Hunt D. R. 2006. *The New Catus Lexicon*. International Cactaceae Systematics Group, DH Books. Milbourne Port, 373 p.
- INEGI. 2010. *Cuentame*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <<http://cuentame.inegi.org.mx>> consultado marzo de 2010.
- INEGI. 1980. *Carta de Climas escala 1:1000000*. México. (versión digital 2005).
- IUCN. 2007. *IUCN Red List of Threatened Species*. <<http://www.iucnreslist.org>> Consultado en noviembre de 2009.
- Kiesling R. & O. E. Ferrari. 2005. *100 Cactus Argentinos*. Albatros. Instituto de Botánica Darwinion. San Isidro Argentina, pp. 19-20.
- Leuenberger B. E. 1987. A preliminary list of Cactaceae from the Guianas and recommendatios for the future collecting and preparation of specimens. *Willdenowia* **16**(24): 497-510.
- Leuenberger B. E. 1997. *Maihuenia*-monograph of Patagonian genus of Cactaceae. *Bot. Jahrb. Syst.* **119**: 1-92.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 2003. *Diario Oficial de la Federación*. 25 de febrero de 2003. México DF.
- Llovera J. 1985. *Aislamiento y caracterización de bacterias fijadores de nitrógeno atmosférico de rizosfera de nopal Opuntia sp.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo Leon México, 86 p.
- Longino J., J. A. Coddington & R. K. Colwell. 2002. The ant fauna of a tropical rain forest: estimating species richness in three different ways. *Ecology* **83**: 689-702
- Magurran A. E. 1988. *Diversidad Ecológica y su Medición*. Ediciones VEDRA. Barcelona, 200 pp.



- Miller R. I. & R. G. Wiegert. 1989. Documenting completeness, species-area relations, and the species-abundance distribution of a regional flora. *Ecology* **70**: 16-22.
- Mittermeier R. & C. G. Mittermeier. 1992. La importancia de la diversidad biológica en México. En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (Comps.) *México ante los retos de la biodiversidad*. CONABIO. México D F, pp. 63-73.
- Mittermeier R. & C. G. Mittermeier. 1997. *Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo*. CEMEX. México DF.
- Navarro A. G., A. T. Peterson, Y. J. Nakazawa & I. Liebig-Fossas. 2003. Colecciones Biológicas, Modelaje de Nichos Ecológicos y los Estudios de la Biodiversidad. En J. J. Morrone y J. Llorente B. (eds.). *Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México D. F. 115-121.
- Olvera S. D. 2009. *Diversidad, distribución y conservación de nopales silvestres Opuntia Mill. Y Nopalea Salm-Dyck, Cactaceae en el estado de Chihuahua, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF, 97 p.
- Paredes, R., T. Van Devender & R. Felger. 2000. *Cactáceas de Sonora, México: su Diversidad, Uso y Conservación*. Arizona-Sonora Desert Museum Press. Tucson Arizona, 143 p.
- Parfitt, B. D. & D. J. Pinkava. 1988. Nomenclatural systematic reassessment of *Opuntia engelmannii* and *Opuntia lindheimeri* (Cactaceae). *Madroño* **35**: 342-349.
- Parfitt B. D. y A. C. Gibson. 2003. *Harrisia* Cactaceae. In: Flora of North America. (Eds.). *Flora of North of Mexico*. Vol. 4. Part 1. Oxford University Press. pp. 92- 152.
- Pinkava D. J. 1996. Nomenclatural changes in *Opuntia* (Cactaceae). *Haseltonia* **4**: 103-104
- Pinkava D. J. 2002 On the evolution of the continental North American Opuntioideae. En Hunt, D. & N. Taylor. 2002. *Studies in the Opuntioideae (Cactaceae). Succulent Plant Research*. Vol 6. Inglaterra.
- Ramamoorthy T.P., R. Bye, A. Lot & J. Fa (eds.). 1993. *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press. Nueva York Oxford, 812 p.
- Rodríguez E. & A. Nava. 1998. *Nopal. Riqueza agroecológica de México*. SEP/SEIT/DEGETA. México DF, 159 p.



- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México DF, 432 p.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rzedowski J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* **14**: 3-21
- Rzedowski J. 1991b. El endemismo de la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* **15**: 47-64
- Sarukhán J. & R. Dirzo. 1992. *México ante los retos de la biodiversidad*. CONABIO. México DF.
- Scheinvar L. 2004. *Flora Cactológica del Estado de Querétaro*. FCE. México DF.
- Scheinvar L., G. Olalde, S. Filardo & P. Beckler. 2009. *Diez especies mexicanas productoras de xoconostles: Opuntia spp. y Cylindropuntia imbricata (Cactaceae)*. Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México DF. 179 p.
- Scheinvar L, G. Olalde, A. Gaytan, & D. Sulé. 2010. Proyecto GE005 Nopales silvestres mexicanos. CONABIO. México DF.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. 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. *Diario Oficial de la Federación*. 6 de marzo de 2002, Primera sección, México, DF.
- Smith E. P. & G. van Bell. 1984. Nonparametric estimation of species richness. *Biometric*. **40**: 119-129.
- Takhtajan A. 1969. *Flowering plants. Origin and dispersal*. Oliver and Boyd LTD. Gran Bretaña. Trad. C. Jeffrey. 310 p.
- Toledo V. 2005. Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia bioregional?. *Gaceta ecológica* **77**(2005): 67-82. Instituto Nacional de Ecología. México DF.
- Toledo V., J. Carabias, C. Toledo & C. G. Pacheco. 1989. *La producción rural en México: Alternativas ecológicas*. Ed. Universo Veintiuno. México, 402 p.



- Vélez-Tirado M. P. 1991, *Representatividad mastofaunística en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México DF.
- Villaseñor J. L., P. Maeda, L. J. Colín & E. Ortiz. 2005. Estimación de la riqueza de especies de Asteraceae mediante extrapolación a partir de datos de presencia-ausencia. *Bol. Soc. Bot. Mex* **76**: 5-18.
- Wallace R. S. & S. L. Dickie. 2002. Systematic implications of chloroplast DNA sequence variation in the Opuntioideae. En Hunt, D. & N. Taylor, *Studies in the Opuntioideae (Cactaceae). Succulent Plant Research*. Vol. 6. Inglaterra.
- Weniger D. 1984 *Cacti of Texas and neighboring states*. University of Texas Press, pp. 228-318.



8. Anexos

Anexo 1 Herbarios revisados “mexicanos (39) y extranjeros (3)”

Colección	Nombre de la Institución
ANSM	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
BCMEX	Herbario Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California
BUAQ	Herbario Dr. Jerzy Rzedowski. Universidad Autónoma de Querétaro
CFNL	Universidad Autónoma de Nuevo León
CHAP	Herbario. Universidad Autónoma Chapingo
CHAPA	Herbario-Hortorio. Colegio de Postgraduados, Montecillo
CHIP	Herbario del Departamento de Botánica. Instituto de Historia Natural de Chiapas
CICY	Herbario U NAJIL TAKIN XIW. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
CP-CSLP	Herbario Hortorio. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus San Luis Potosí
CP-CT	Herbario Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Cárdenas, Tabasco
EBUM	Herbario-Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
ECO-SC-H	El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal de las Casas
ECO-TA-H	Herbario El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula
ENCB	Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
FCME	Facultad de Ciencias, UNAM-Herbario-“María Agustina Batalla”
GUADA	Herbario Universidad Autónoma de Guadalajara
HCIB	Herbario Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
HCIIDIR	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, IPN.
HEM	Eizi Matuda- Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
HERB-UACJ	Herbario de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
HFCB-UNL	Herbario Universidad Autónoma de Nuevo León
HMBM	Herbario Museo de Biodiversidad Maya, Universidad Autónoma de Campeche



Continúa

HUAA	Herbario-Universidad Autónoma de Aguascalientes
HUAP	Herbario Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
HUAT	Herbario-Universidad Autónoma de Tamaulipas
HUJAT	Herbario Universidad Autónoma de Tabasco
HUMO	Herbario Universidad Autónoma del Estado de Morelos
IBUG	Herbario-Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara
IEB	Instituto de Ecología, A. C. Herbario-Centro Regional del Bajío
INEGI	Herbario Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INIF	Campo Exp. Coyoacán. Herbario Nacional Forestal “Biól. Luciano Vela Gálvez”
INIFAP-CG	Campo Exp. Coyoacán.-Colección Germoplasma
MEMO	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
MEXU	Instituto de Biología, UNAM Herbario Nacional de México
SLPM	Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí- Herbario “Isidro Palacios”
UADY	Herbario Alfredo Barrera Marín-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán
UAS	Universidad Autónoma de Sinaloa
UCAM	Herbario Etnobotánico-Centro de Investigaciones Históricas y Sociales, Universidad Autónoma de Campeche
XAL	Herbario-Instituto de Ecología A. C. Xalapa
MOBOT	The herbarium of the Missouri Botanical Garden
NYBG	The New York Botanical Garden Herbarium
US	United States National Herbarium



Anexo 2

Especies de nopales silvestres consideradas en este trabajo

Especies de <i>Opuntia</i> (93)	
<i>Opuntia aciculata</i> Griffiths	<i>Opuntia macrorhiza</i> Engelm.
<i>Opuntia affinis</i> Griffiths	<i>Opuntia matudae</i> Scheinvar
<i>Opuntia atrispina</i> Griffiths	<i>Opuntia maxonii</i> J.G. Ortega
<i>Opuntia atropes</i> Rose	<i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck
<i>Opuntia azurea</i> Rose	<i>Opuntia megarhiza</i> Rose
<i>Opuntia basilaris</i> Engelm. & J.M. Bigelow	<i>Opuntia microdasys</i> (Lehm.) Pfeiffer
<i>Opuntia bensonii</i> Sánchez-Mej.	<i>Opuntia nejapensis</i> Bravo
<i>Opuntia bravoana</i> E.M. Baxter	<i>Opuntia nigrita</i> Griffiths
<i>Opuntia cantabrigiensis</i> Lynch	<i>Opuntia oligacantha</i> Först
<i>Opuntia chaffeyi</i> Britton & Rose	<i>Opuntia olmeca</i> Pérez Crisanto, J. Reyes & F. Brachet
<i>Opuntia chavena</i> Griffiths	<i>Opuntia oricola</i> Philbrick
<i>Opuntia chiangiana</i> Scheinvar & Manzanero	<i>Opuntia pachona</i> Griffiths
<i>Opuntia chlorotica</i> Engelm. & Bigelow	<i>Opuntia pachyrhiza</i> H.M. Hern., Gomez-Hin. & Barcenas
<i>Opuntia cochineria</i> Griffiths	<i>Opuntia pailana</i> Weing.
<i>Opuntia cretochaeta</i> Griffiths	<i>Opuntia parviclada</i> S. Arias & S. Gama
<i>Opuntia decumbens</i> Salm-Dyck	<i>Opuntia phaeacantha</i> Engelm.
<i>Opuntia depressa</i> Rose	<i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber
<i>Opuntia durangensis</i> Britton & Rose	<i>Opuntia polyacantha</i> Haw.
<i>Opuntia elizondoana</i> E. Sanchez M. & Villasenor	<i>Opuntia pottsii</i> Salm-Dyck
<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck	<i>Opuntia puberula</i> Hort. Vindob. ex Pfeiff.
<i>Opuntia excelsa</i> Sánchez-Mej.	<i>Opuntia pubescens</i> J.C. Wendl. ex Pfeiff.
<i>Opuntia feroacantha</i> Britton & Rose	<i>Opuntia pumila</i> Rose
<i>Opuntia fragilis</i> (Nutall) Haw	<i>Opuntia pycnantha</i> Engelm.
<i>Opuntia fuliginosa</i> Griffiths	<i>Opuntia pyriformis</i> Rose
<i>Opuntia glaucescens</i> Salm-Dyck	<i>Opuntia rastrera</i> F.A.C. Weber
<i>Opuntia gosseliniana</i> F.A.C. Weber	<i>Opuntia rileyi</i> J.G. Ortega
<i>Opuntia grandis</i> Pfeiff.	<i>Opuntia robinsonii</i> J.G. Ortega
<i>Opuntia guatemalensis</i> Britton & Rose	<i>Opuntia robusta</i> H. Wendl.
<i>Opuntia guerrana</i> Griffiths	<i>Opuntia rzedowskii</i> Scheinvar
<i>Opuntia guilanchi</i> Griffiths	<i>Opuntia santa-rita</i> (Griff & Hare) Rose
<i>Opuntia heliabravoana</i> Scheinvar	<i>Opuntia sarca</i> Griffiths ex Scheinvar
<i>Opuntia hitchcocki</i> J.G. Ortega	<i>Opuntia scheeri</i> F.A.C. Weber
<i>Opuntia howeyi</i> J.A. Purpus	<i>Opuntia spinulifera</i> Salm-Dyck
<i>Opuntia huajuapensis</i> Bravo	<i>Opuntia spraguei</i> J.G. Ortega
<i>Opuntia humifusa</i> (Raf.) Raf.	<i>Opuntia stenopetala</i> Engelm.
<i>Opuntia hyptiacantha</i> F.A.C. Weber	<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.
<i>Opuntia icterica</i> Griffiths	<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.
<i>Opuntia incarnadilla</i> Griffiths	<i>Opuntia tapona</i> Engelm. ex J.M. Coult.
<i>Opuntia joconostle</i> F.A.C. Weber ex Diguet	<i>Opuntia tehuacana</i> S. Arias Montes & L.U. Guzmán Cruz



Continua

<i>Opuntia lagunae</i> Baxter ex Bravo	<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck
<i>Opuntia larreyi</i> F.A.C. Weber ex Coult.	<i>Opuntia undulata</i> Griffiths
<i>Opuntia lasiacantha</i> Pfeiff.	<i>Opuntia velutina</i> F.A.C. Weber
<i>Opuntia leucotricha</i> DC.	<i>Opuntia wilcoxii</i> Britton & Rose
<i>Opuntia littoralis</i> (Engelm.) Cockerell	<i>Opuntia x andersonii</i> H.M. Hern., Gomez-Hin. & Barcnas
<i>Opuntia macdougaliana</i> Rose	<i>Opuntia x occidentalis</i> Engelm. & J.M. Bigelow
<i>Opuntia macrocentra</i> Engelm.	<i>Opuntia x spinosibacca</i> M. S. Anthony
	<i>Opuntia zamudioi</i> Scheinvar

Especies del género *Nopalea* Salm-Dyck (8)

<i>Nopalea auberi</i> (Pfeiff.) Salm-Dyck	<i>Nopalea inaperta</i> Schott ex Griffiths
<i>Nopalea dejecta</i> (Salm-Dyck) Salm-Dyck	<i>Nopalea karwinskiana</i> F.A.C. Weber
<i>Nopalea esquinclensis</i> Matuda	<i>Nopalea lutea</i> Rose
<i>Nopalea gaumeri</i> Britton & Rose	<i>Nopalea nuda</i> Backeb.

Anexo 3

Especies endémicas y microendémicas de nopales silvestres en México (Scheinvar 2010)

Especies endémicas de *Opuntia* en México

1) <i>O. aciculata</i>	16) <i>O. feroacantha</i>	32) <i>O. leucotricha</i>	47) <i>O. rileyi</i>
2) <i>O. affinis</i>	17) <i>O. fuliginosa</i>	33) <i>O. maccougaliana</i>	48) <i>O. robinsonii</i>
3) <i>O. atropes</i>	18) <i>O. glaucescens</i>	34) <i>O. matudae</i>	49) <i>O. robusta</i>
4) <i>O. azurea</i>	19) <i>O. grandis</i>	35) <i>O. maxoni</i>	50) <i>O. rzedowskii</i>
5) <i>O. bensonii</i>	20) <i>O. guerrana</i>	36) <i>O. megacantha</i>	51) <i>O. sarca</i>
6) <i>O. cantabrigiensis</i>	21) <i>O. guilanchi</i>	37) <i>O. megarhiza</i>	52) <i>O. scheeri</i>
7) <i>O. chiangiana</i>	22) <i>O. heliabravoana</i>	38) <i>O. nigrita</i>	53) <i>O. spinulifera</i>
8) <i>O. chavena</i>	23) <i>O. hitchcocki</i>	39) <i>O. oligacantha</i>	54) <i>O. spraguei</i>
9) <i>O. cochineria</i>	24) <i>O. howeyi</i>	40) <i>O. pachona</i>	55) <i>O. stenopetala</i>
10) <i>O. cretochaeta</i>	25) <i>O. huajuapensis</i>	41) <i>O. pachyrrhiza</i>	56) <i>O. streptacantha</i>
11) <i>O. decumbens</i>	26) <i>O. hyptiacantha</i>	42) <i>O. parviclada</i>	57) <i>O. tehuacana</i>
12) <i>O. depressa</i>	27) <i>O. icterica</i>	43) <i>O. pilifera</i>	58) <i>O. undulata</i>
13) <i>O. durangensis</i>	28) <i>O. incarnadilla</i>	44) <i>O. pumila</i>	59) <i>O. velutina</i>
14) <i>O. elizondoana</i>	29) <i>O. joconostle</i>	45) <i>O. pyriformis</i>	60) <i>O. wilcoxii</i>
15) <i>O. excelsa</i>	30) <i>O. larreyi</i>	46) <i>O. rastrera</i>	61) <i>O. x andersonii</i>
	31) <i>O. lasiacantha</i>		62) <i>O. zamudioi</i>

Especies endémicas de *Nopalea* en México

1) <i>N. auberi</i>	4) <i>N. inaperta</i>
2) <i>N. dejecta</i>	5) <i>N. karwinskiana</i>
3) <i>N. gaumeri</i>	6) <i>N. nuda</i>

Especies microendémicas de nopales silvestres en México

1) <i>Opuntia bravoana</i>	5) <i>O. olmeca</i>
2) <i>O. chaffeyi</i>	6) <i>O. pailana</i>
3) <i>O. lagunae</i>	7) <i>O. pycnantha</i>
4) <i>O. nejapensis</i>	8) <i>O. tapona</i>
	9) <i>O. x occidentalis</i>
