



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Distribución geográfica de *Nopalxochia phyllanthoides*  
(DC) Britton *et* Rose (Cactaceae): modelos predictivos y  
conservación

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
B I Ó L O G O  
P R E S E N T A:

FRANCISCO GERARDO YBERRI PAREDES



DIRECTOR DE TESIS: Dr. RAÚL CONTRERAS MEDINA

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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

Yberri  
Paredes  
Francisco Gerardo  
46 22 29 33  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
099342588

### 2. Datos del tutor

Dr  
Raúl  
Contreras  
Medina

### 3. Datos del sinodal 1

Dra  
Mercedes Isolda  
Luna  
Vega

### 4. Datos del sinodal 2

Dr  
Salvador  
Arias  
Montes

### 5. Datos del sinodal 3

Dra  
Claudia  
Ballesteros  
Barrera

### 6. Datos del sinodal 4

M en C  
César Antonio  
Ríos  
Muñoz

### 7. Datos del trabajo escrito

Distribución geográfica de *Nopalxochia phyllanthoides*  
(DC) Britton *et* Rose (Cactaceae): modelos predictivos y  
conservación  
71 p  
2009

“...La burguesía despojó de su halo de santidad a todo lo que se tenía por venerable y digno acontecimiento. Convirtió en sus servidores asalariados al médico, al jurista, al poeta, al sacerdote, al hombre de ciencia...”

A mi familia: Pa, Ma, Iván, Gisela y Flor, mis sobrinos, mi abue Chelo, mis  
madrinas Mary y Reina

A Raúl por confiar en mí

A Ileri, Cris y Elisaf

A mis amigos: Juan, Ileri, Cristina, Hugo, Sergio, Daniel, Jesús, Carlitos, a todos  
los 300, César, Eve, Poncho, Jaz, Rogelio, Miguel, Blas, Liliana, Roberto, Cynthia,  
Horey, Salvador, Nidia, Darinka, María, Jatziri, Esmeralda, Alejandra, Chucho,  
Koh, Alma, Caro, Yami, Zeus, Víctor, Celia, Miroz, Deborah

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A todos los que me apoyaron y siempre estuvieron conmigo.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a toda mi familia, mis padres Francisco y Maria Luisa (además de todos los demás integrantes, claro) por todo su cariño, enseñanzas y subsidio.

Mi eterna gratitud al Dr. Raúl Contreras Medina, por sus conocimientos que me transmitió (y sigue transmitiendo), por su amistad y consejos tanto académicos como personales en todo momento, por su humildad, confianza y toda la paciencia que me tiene.

A Ileri así como a su familia, Adriana, Caro y Yami por su amistad y cariño.

A Cris y a todos mis amigos, que no puedo mencionarlos a todos pero ustedes saben que se les quiere, así como al equipo "Santana".

Al M. en C. César Antonio Ríos Muñoz por todos sus consejos, la amistad que me brindó y por su infinita paciencia en todos los problemas técnicos y no técnicos durante la realización de la tesis.

Por supuesto a la Dra. Claudia Ballesteros Barrera, muchas gracias Claudia por tu apoyo y amistad desde el primer momento en que te empecé a molestar con mi trabajo, realmente te agradezco todo.

A todos los profesores que han sido parte de mi formación: Dra. Laura Vargas, Dr. Rogelio Aguilar, M. en C. Carlos Ruiz, Sandra Soriano, Donald Acal, Cecy Ramirez, Humberto Arce, Alejandro Arroyo, Ana María Velasco; a mis profesores de TKD: Adrián Martínez, Juan Carlos Reyes y Patricia Valay.

A Carmen Castro y su familia por apoyarnos y alojarnos en Zacapoaxtla, muchas gracias.

A Nidia Mendoza Díaz por los dibujos de la página 10, muchas gracias por tu tiempo y talento.

A la Dra. Mercedes Isolda Luna Vega y su grupo de trabajo del Departamento de Biología Evolutiva, muchas gracias a todos.

Al Dr. Salvador Arias por sus comentarios, críticas y correcciones al presente trabajo.

Y por supuesto ¡como no te voy a querer! Universidad Nacional Autónoma de México.

## RESUMEN

Se analizó el área de distribución de *Nopalxochia phyllanthoides* ocupando los siguientes métodos: propincuidad media, gradillas (0.1° de lado) y distribución potencial con los programas GARP y MAXENT; para ambos programas se realizó una prueba de “jackknife” debido a los pocos registros para la especie. Se aplicó el MER para conocer el estatus de conservación del taxón, además de evaluar la representatividad del mismo dentro del programa de Áreas Naturales Protegidas y Regiones Terrestres Prioritarias. La obtención de la información para estimar el área de distribución se basó en 15 ejemplares de herbario así como datos tomados en campo, se utilizó el programa ArcView 3.2 para la obtención de los mapas de distribución, así como los programas DesktopGarp y MAXENT para generar los modelos de distribución potencial. La distribución obtenida a partir de los modelos generados por MAXENT resultó ser la más efectiva debido que en las salidas a campo para verificar los modelos, de 8 puntos de verificación, 7 coinciden con el modelo. El análisis del MER arroja como resultado un total de 11 puntos, lo cual coloca al taxón como amenazada (A), como está contemplada actualmente, sin embargo no hay estudios del criterio C, por lo que el MER es incompleto. De acuerdo a los modelos obtenidos de los programas GARP y MAXENT, su distribución coincide con dos y tres ANP's respectivamente, así como con cinco RTP's en ambos casos. Se concluye que para ciertas especies, como en el presente trabajo, un número bajo de localidades es suficiente para modelar su distribución. En el caso de las ANP's se podría considerar que existe una protección real del taxón, sn embargo, no se tiene registro para dichas áreas.

# CONTENIDO

RESUMEN

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

*Nopalxochia* versus *Disocactus*

Ubicación Taxonómica

Descripción del taxón

Método de evaluación del riesgo de extinción  
de las especies silvestres en México (MER)

Áreas Naturales Protegidas

Regiones Terrestres Prioritarias

Modelos predictivos

Nicho ecológico

OBJETIVOS

MATERIAL Y MÉTODO

Área de distribución

Distribución potencial

GARP

MAXENT

Método de evaluación del riesgo de extinción  
de las especies silvestres en México (MER)

RESULTADOS

DISCUSIÓN

Áreas de distribución

Modelos predictivos

Método de evaluación del riesgo de extinción  
de las especies silvestres en México (MER)

CONCLUSIONES

LITERATURA CITADA

## INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo, debido al elevado número de especies (muchas de ellas son endémicas) que habitan en el territorio nacional (Koleff y Moreno, 2005). Esta alta diversidad se debe, entre otros factores, a que nuestro país se encuentra en una zona de transición entre dos regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical. Además posee una fisiografía muy variada y compleja, consecuencia de su historia geológica y presenta un efecto de corredor biológico, dotando a éste de una riqueza biológica excepcional (Halffter, 2003; Zunino y Zullini, 2003).

Dentro de esta vasta diversidad, la familia Cactaceae ha encontrado su máxima diversificación, abundancia e importancia (Rzedowski, 1991), teniendo una estimación del 73% de los géneros y el 78% de las especies como endémicas del territorio nacional (Hernández y Godínez, 1994).

La familia Cactaceae Juss. es endémica del continente Americano; se distribuye desde el norte de Canadá hasta Argentina, desde el nivel del mar hasta los 5100 msnm en Perú. Posiblemente evolucionó a partir de antecesores africanos, después de la separación de los continentes Africano y Americano, por lo que no fue posible su dispersión a otros continentes (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Sheinvar, 1995; Anderson, 2001).

Las cactáceas representan un grupo vegetal importante en cuanto a complejidad taxonómica y nomenclatural. Se trata de una familia relativamente joven dentro de la escala evolutiva de las plantas con flores y no se conoce registro fósil, pero se cree que está en proceso de diferenciación, el cual está originando nuevos taxones (Guzmán *et al.*, 2003).

Como se mencionó anteriormente, las cactáceas son componentes importantes de la flora americana, siendo México el país con mayor diversidad (Guzmán *et al.*, 2003). La familia incluye muchos taxones en alguna categoría de riesgo. Tienen gran importancia en la alimentación humana y como forraje para el ganado, ya sea los cladodios o nopales, o los frutos como las tunas, xoconostles, garambuyos, pitahayas y pitayas. En medicina tradicional, algunas especies son usadas como materia prima y cercas vivas, además de que su belleza y rareza provocan su explotación como ornamentales (Scheinvar, 2004; Santa Anna del Conde *et al.*, 2009).

Anteriormente se creía que las cactáceas primitivas habitaron las zonas húmedas del Caribe de donde emigraron hacia el norte y hacia el sur del continente (Bravo-Hollis, 1978); información reciente indica que el origen temporal de la familia data del periodo Cretácico tardío, cuando Sudamérica y África se encontraban unidos, razón por la cual este sitio se considera su origen espacial. Posterior a la separación de estos continentes, se cree que en África se extinguió por completo la familia y en América continuó su evolución (Nyffeler, 2002), adaptándose a diversos grados de aridez. Entre estas adaptaciones se encuentran los géneros de

la tribu *Hylocereae* de la subfamilia Cactoideae, algunos de los cuales se distribuyen en tipos de vegetación con clima cálido y altas precipitaciones pluviales (creciendo como epífitas, trepadoras o rupícolas) (Bravo-Hollis, 1978).

### *Disocactus* versus *Nopalxochia*

En general, los miembros de la tribu *Hylocereae* han estado envueltos en mucha controversia, en parte porque muchos taxones, incluidos géneros, fueron propuestos con un pobre conocimiento de las plantas en su estado natural. Investigadores reconocidos por sus trabajos dentro del área de la taxonomía de la familia Cactaceae como Myron Kimnach y Wilhelm Barthlott han llegado a diferentes conclusiones estudiando las mismas plantas; Kimnach incluye el género *Pseudorhipsalis* dentro de *Disocactus*, pero reconoce a *Aporocactus*, *Heliocereus* y *Nopalxochia* como géneros separados. Por otra parte, Barthlott reconoce el género *Pseudorhipsalis* e incluye los géneros *Aporocactus*, *Heliocereus* y *Nopalxochia* dentro de *Disocactus* (Anderson, 2001). Como ya se mencionó, a pesar de que los cambios taxonómicos más recientes incorporan al género *Nopalxochia* y otros géneros de la tribu a *Disocactus*, estas modificaciones carecen de estudios sistemáticos que sustenten esta clasificación (Bauer, 2003; Arias *et al.*, 2005).

Las plantas del género *Nopalxochia* son de las especies de cactáceas más antiguas de las que se tiene conocimiento; fue dibujada por Francisco Hernández

durante su viaje a la Nueva España de 1570 a 1577, pero hasta 1651 se publicaron sus estudios en libros titulados: Historia de las plantas de Nueva España. Posteriormente fue dibujada por Plukenet en 1691. Humboldt y Bonpland la observaron en Turbaco, cerca de Cartagena, Colombia, de semillas colectadas en ese tiempo crecieron en el jardín de La Malmaison, de las cuales florecieron en 1811 y fueron descritas e ilustradas como *Cactus speciosus* en 1813 (Britton y Rose, 1923).

En épocas prehispánicas estas plantas fueron conocidas con el nombre de “Nopalxochicueztic”, que significa flor de tuna escaflata (Hernández, 1946), de donde deriva el nombre del género *Nopalxochia*, propuesto por Britton y Rose. Actualmente se le conoce en diferentes localidades con el nombre de “nopalillo” (Bravo-Hollis, 1978; Martínez, 1994), “nopalxóchitl”, “nopal” o “nopalito”, además, en el extranjero se le conoce como “orchid cacti” (Bravo-Hollis, 1978), “pond lily cactus”, “Deutsche kaiserin” y “German Empress” (Bauer, 2003).

En las descripciones de Bravo-Hollis (1978) de los géneros *Nopalxochia* y *Disocactus*, se pueden distinguir algunas diferencias entre ambos (Cuadro 1), además hace notar que las especies de *Disocactus* son las que han alcanzado el mayor grado de reducción de la subtribu Disocactinae; Bauer (2003) realizó una revisión de la tribu Hylocereeae, en la cual sigue la clasificación de Barthlott y Hunt (1993), agregando *Nopalxochia* a *Disocactus*, sin embargo, dentro del mismo género *Disocactus* forma grupos, uno de los cuales es el grupo *Nopalxochia*

(Bauer, 2003; Scheinvar, 2004), el cual contiene una sola especie que es, bajo la clasificación que sigue el autor, *Disocactus phyllanthoides*.

Cuadro 1. Diferencias entre algunas estructuras de los géneros *Nopalxochia* y *Disocactus*.

Estructura	<i>Nopalxochia</i>	<i>Disocactus</i>
Filocladios	Crenados con lóbulos redondeados, base cilíndrica.	Crenados, base cilíndrica, oblanceolados.
Aréolas	Con lana y espinas setosas cuando jóvenes.	Sin espinas.
Flores	Solitarias, diurnas, infundibuliformes, color rosa o rojo.	Solitarias, diurnas, tubulares, color blanco, amarillo, rojo.
Tubo receptacular	Corto, de la misma longitud o menos que el perianto, con escamas petaloides, axilas con cerdas cortas o sin ellas.	Algo largo, más corto que el perianto, angosto, recurvado, con algunas escamas con axilas desnudas.
Segmentos exteriores del perianto	Ligeramente recurvados hacia fuera.	Escasos, largos, extendidos.
Estambres	Numerosos.	Numerosos.
Pericarpelo	Pequeño.	Pequeño.
Fruto	Globoso, elíptico, con algunas aréolas más o menos setosas.	Globoso hasta ovoide pequeño, con algunas escamas pequeñas.
Semillas	Numerosas, color café oscuro-marrón, con testa foveolada.	Numerosas, con testa muy finamente foveolada.

*Nopalxochia phyllanthoides* (DC) Britton *et* Rose, es una cactácea que se puede encontrar en su estado silvestre como epífita, rupícola o epilítica, principalmente en bosques templados. Es una especie endémica de México y cuya distribución geográfica está restringida a los estados de Puebla, en los municipios de Zacapoaxtla y Teziutlán (Bravo-Hollis; 1978; Meyrán, 1962), Hidalgo, municipios de Tenango de Doria (Alcántara y Luna, 1997; Luna *et al.*, 2006) y Lolotla (Ponce-Vargas *et al.*, 2006; Luna *et al.*, 2006) y Veracruz, en el municipio de Huayacocotla (Bravo-Hollis, 1978). *Nopalxochia phyllanthoides* es una planta poco

estudiada a pesar de su gran atractivo como planta de ornato y que es muy apreciada por los coleccionistas.

Los tipos de vegetación en que se desarrolla esta cactácea son: bosque tropical perennifolio, bosque tropical subcaducifolio y bosque mesófilo de montaña (*sensu* Rzedowski, 1978). La mayoría de estos bosques se encuentran muy alterados por los incendios forestales, tala ilegal, manejo de los mismos para uso forestal, cultivos, ganadería y crecimiento de asentamientos humanos. Su principal uso es ornamental debido a que las flores que produce son muy apreciadas y cotizadas por su belleza, aunque también tiene un uso medicinal; la decocción de la flor se toma como tónico cardíaco y se emplea como expectorante y remedio para la tos común; los frutos maduros se comen por tener un sabor dulce, se les conoce como "tunitas". Se comercializa en mercados locales e incluso por Internet, alcanzando precios de hasta US \$ 30 por una rama de 6 a 8 pulgadas (15.24 a 20.32 cm) (<http://ecology.org/orchids/index5.html#disocactus>).

Francisco Gerardo Yberri Paredes

## UBICACIÓN TAXONÓMICA

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Subclase Caryophyllidae

Orden Caryophyllales

Familia Cactaceae

Subfamilia Cactoideae

Tribu Hylocereae

Subtribu Disocactinae

Género *Nopalxochia*

Especie *Nopalxochia phyllanthoides* (DC) Britton et Rose 1923.

A continuación se presenta una descripción de la especie basada en Bravo-Hollis (1978), además de consulta de herbario y datos tomados en campo.

***Nopalxochia phyllanthoides* (DC) Britton et Rose, 1923.**

*Cactus phyllanthoides* DC, 1813.

*Cactus speciosus* Bonpland, 1813.

*Epiphyllum speciosum* Haworth, 1819.

*Cactus elegans* Link, 1822.

*Epiphyllum phyllanthoides* Sweet, 1826.

*Cereus phyllanthoides* DC, 1828.

*Phyllocactus phyllanthoides*, Link 1831.

*Opuntia speciosa* Steudel, 1841.

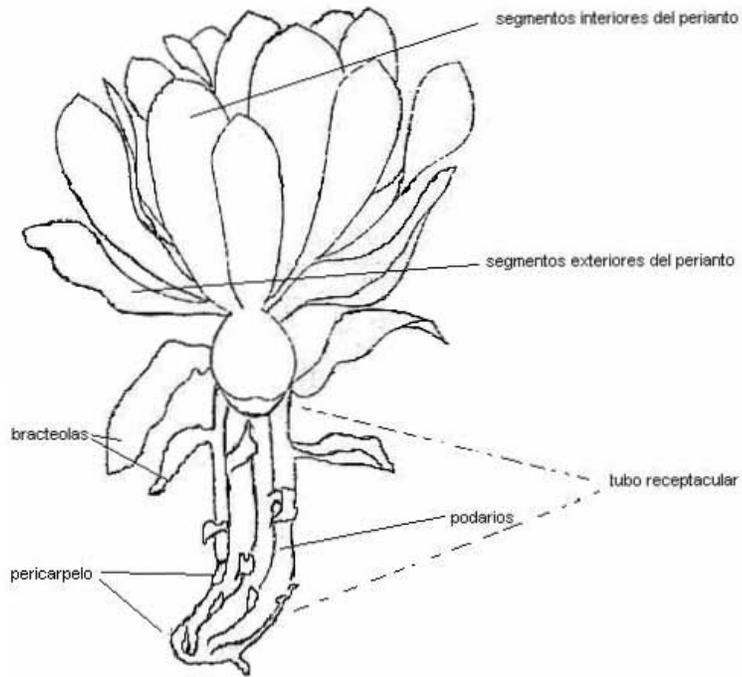
*Disocactus phyllanthoides* (DC) Barthlott, 1991.

Plantas epífitas o epilíticas muy ramificadas (Figura 1), con filocladios lanceolados, agudos, con la base cilíndrica, de 3 a 5 cm de ancho, con lóbulos obtusos, color verde pálido, a veces con tinte rojizo a púrpura, la nervadura central prominente y las nervaduras laterales bien definidas. Flores de 4 a 15 cm de largo, más o menos campanuladas, color rosa claro, que se desarrollan lentamente; el pericarpelo es de 1 cm de largo y 1 cm de ancho estriado longitudinalmente por la prolongación de los podarios provistos de pequeñas escamas lanceoladas de 3 mm de largo y 2 mm de ancho, llevando en las axilas algo de lana; el tubo receptacular está encorvado arriba del pericarpelo, de color rosa claro, de 2 a 6 cm de largo y 1 cm de diámetro, provisto de grandes bractéolas petaloides,

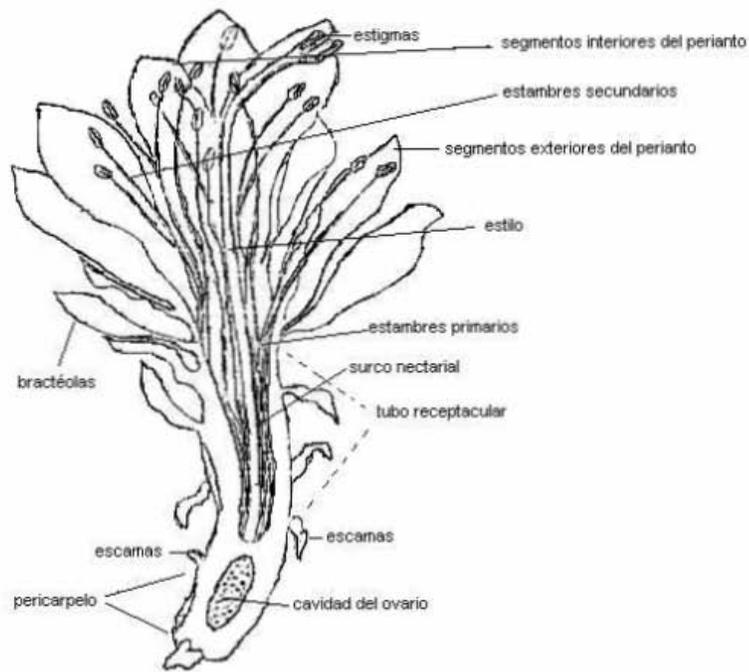
anchamente lanceoladas, de 2 a 3 cm de largo y 1 a 2 cm de ancho, angostadas hacia su inserción con el receptáculo, con las axilas desnudas; segmentos exteriores del perianto oblanceolados, mucronados, de 2 a 6 cm de largo, color rosa pálido; segmentos interiores del perianto de 2 a 5 cm de largo y 1 a 2 cm de ancho, oblanceolados, mucronados, color rosa pálido; androceo con estambres libres, numerosos, entre 100 y 200, con filamento rosa claro de 1 a 8 cm de largo; anteras color crema de 1 a 4 mm de largo; gineceo sincárpico, estilo blanquecino, de 3 a 8 cm de largo; lóbulos del estigma 5 a 8, papilados; ovario ínfero, óvulos en folículos no ramificados; cámara nectarial de 1.5 cm de largo (Figura 2). El fruto es una baya elíptica, de 3 a 4 cm de largo, con costillas y algunas espinas en las aréolas, color verde y guinda al madurar, con un sabor dulce. Semillas color café oscuro-marrón, de 1 a 1.6 mm de largo, con testa foveolada, de 280 a 300 por fruto. Florece de abril a julio.



Figura 1. *Nopalxochia phyllanthoides*.



a.



b.

Figura 2. Esquema general de la flor del género *Nopalxochia* (modificado de Bravo-Hollis, 1978), a. Vista externa. b. Corte longitudinal.

Por las características de la flor, la polinización puede ser llevada a cabo por aves, en particular algún colibrí (Judd *et al.*, 2002), pero hacen falta estudios para corroborar esta hipótesis o bien, describir al o a los polinizadores de esta planta. En cuanto a su dispersión, los habitantes de algunas localidades aseguran que las aves consumen los frutos, entre estas está la “primavera” (*Turdus* sp.), aunque algunos mamíferos pequeños pueden llegar a consumirlos también.

En la actualidad esta especie se encuentra en la categoría de amenazada (A) dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002) bajo el nombre de *Nopalxochia phyllanthoides*. Mientras que para CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) aparece como *Disocactus phyllanthoides* y todo el género *Disocactus* está dentro del apéndice I (el cual prohíbe su comercialización), en vigencia a partir del 14 de junio de 2006.

## MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EXTINCIÓN DE LAS ESPECIES SILVESTRES EN MÉXICO (MER)

El grado de amenaza que afecta a una especie puede ser el resultado de la incidencia de factores tanto naturales como inducidos (Sánchez-Martínez *et al.*, 2006). En ocasiones la falta de información sobre aspectos biológicos y ecológicos de las especies hace que se les considere en categorías incorrectas de riesgo, ya sea considerando alguna especie como en peligro de extinción, a pesar de no

estarlo; o por el contrario, especies casi extintas no considerarlas o considerarlas en categorías inferiores (Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2005).

La Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002) determina a las especies y subespecies de flora y fauna silvestres, tanto terrestres como acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y sujetas a protección especial y establece especificaciones para su protección. Además, contiene un anexo normativo en el que se consideran cuatro criterios para clasificar a las especies en las distintas categorías de riesgo. Estos criterios se incluyen en el Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) (SEMARNAT, 2002).

El MER es un método que unifica los criterios de decisión sobre las categorías de riesgo y permite usar información específica que fundamente toda propuesta de inclusión, exclusión o cambio de categoría de las especies en la NOM-059-ECOL-2001, considerando cuatro criterios independientes entre sí: A) amplitud de la distribución del taxón en México, B) estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón, C) vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón, D) impacto de la actividad humana sobre el taxón.

Cada uno de estos criterios se puede jerarquizar mediante la asignación de valores numéricos, integrándolos mediante una sumatoria. Los intervalos de asignación de categoría de riesgo son: entre 12 y 14 puntos se le considera en peligro de extinción, entre 10 y 11 puntos como amenazada.

## ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (ANP)

Las áreas naturales protegidas son porciones del territorio nacional (terrestre o acuático) que son representativas de los diferentes ecosistemas en donde se supone las características ambientales no han sido alteradas, además proporcionan servicios ambientales y ayudan a mantener algunas comunidades sociales nativas del país, protegiendo su cultura y aplicando planes de desarrollo sustentable (CONANP, 2007).

De acuerdo con la definición que hace la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1988) un área natural protegida es “aquella zona del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto en dicha ley”.

Son seis categorías en las que se clasifican estas áreas; Reserva de la Biosfera (37 decretadas), Parques Nacionales (68), Monumentos Naturales (4), Áreas de Protección de Recursos Naturales (6), Áreas de Protección de Flora y Fauna (29), Santuarios (17), ocupando 227,081.75 km<sup>2</sup>, lo cual equivale al 11.56% del total del territorio nacional (1,964 375 km<sup>2</sup>) (CONANP, 2007).

## REGIONES TERRESTRES PRIORITARIAS DE MÉXICO (RTP)

Las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) representan un proyecto propuesto por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), enfocado a detectar áreas con condiciones importantes para la biodiversidad (Arriaga *et al.*, 2000); corresponden a unidades físico-temporales estables desde el punto de vista ambiental en la parte continental del territorio nacional, que destacan por la presencia de una riqueza ecosistémica y específica y una presencia de especies endémicas comparativamente mayor que en el resto del país, así como por una integridad biológica significativa y una oportunidad real de conservación. En el territorio nacional existen 152 RTP que cubren una superficie de 515,558 km<sup>2</sup> (Arriaga *et al.*, 2000).

## MODELOS PREDICTIVOS

La capacidad de predecir fenómenos es una de las metas más grandes de la ciencia, para lograrlo es necesario conocer un fenómeno o por lo menos tener las nociones básicas de los mecanismos que lo rigen. Dado este conocimiento, es posible establecer ecuaciones matemáticas que describan el fenómeno, al resolver estas ecuaciones se puede hacer una predicción, a esto se le llama construir un modelo. Un modelo refleja matemáticamente las características físicas de un sistema, construye la descripción de una parte de la naturaleza, por lo tanto,

si se conocen las condiciones iniciales de un sistema es posible conocer su desarrollo tanto presente como futuro (Braun, 2008).

Generalmente, los análisis de distribución geográfica se basan en localidades individuales y registros puntuales, restringiendo en cierto modo el conocimiento adecuado de la distribución de los taxones ya que, para la mayoría de las especies son insuficientes las colectas u observaciones confiables (Navarro *et al.*, 2003), así como problemas relacionados con datos insuficientes de colecta y localidades sobremuestreadas, es decir colectas y colectas del mismo sitio.

Debido a lo anterior, los inventarios biológicos son fragmentarios, escasos e incompletos, por lo que se utilizan los modelos predictivos para maximizar los datos de distribución disponibles en regiones escasamente muestreadas (Peterson *et al.*, 2002). Estos modelos predictivos utilizan algoritmos matemáticos para encontrar condiciones semejantes al sitio de colecta para después predecir las distribuciones geográficas con base en la aproximación al nicho ecológico que ocupan las especies, utilizando coberturas en formato digital de condiciones ambientales (Peterson y Cohoon, 1999), bajo la premisa que el conjunto de registros individuales de las especies se relaciona con las variables ambientales presentes en las localidades de recolecta (Contreras-Medina, 2006).

Los modelos de distribución potencial ayudan a encontrar las condiciones ambientales más óptimas para que la especie logre distribuirse en alguna

localidad, en función de parámetros obtenidos de recolectas previas, literatura y datos de colecciones científicas (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004).

Este enfoque ha ido ganando importancia y actualmente existe una gran variedad de modelos que se han desarrollado para estudiar diferentes aspectos como biología de la conservación (Contreras-Medina, 2006), ya que las distribuciones potenciales se pueden aplicar para diseñar un plan de áreas naturales protegidas (Peterson *et al.*, 2000), o bien áreas donde se pueden establecer cultivos o granjas para propagación de especies en peligro de extinción, amenazadas o de importancia comercial (Lindenmayer *et al.*, 1996).

Actualmente son pocos los trabajos realizados con este enfoque para plantas mexicanas, entre los que se encuentran el de Téllez-Valdés *et al.* (2006), con *Fagus grandifolia* (Fagaceae); Villaseñor y Téllez-Valdés (2004) con el género *Jeffea* (Compositae), y los de Téllez-Valdés y Dávila-Aranda (2003) y Gómez-Mendoza y Arriaga (2007) con modelos de cambio climático basados en la distribución de cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y pinos y encinos de México, respectivamente; así como el de Solano y Feria (2007) con el género *Polianthes* (Agavaceae), en el que describen el estatus de riesgo y la distribución del género.

## NICHO ECOLÓGICO

Uno de los conceptos teóricos más importantes para realizar modelos predictivos basados en condiciones ambientales de taxones es el de nicho ecológico. Diversos autores, bajo distintos enfoques han explicado este término. El primer autor en establecer el concepto de nicho ecológico fue Grinnell (1917), quien le da mucha importancia a la distribución geográfica; posteriormente otros autores parten de este concepto y desarrollan nuevos conceptos, o complementan los ya existentes.

Uno de los autores que revolucionó el concepto de nicho fue Hutchinson (1957); para dicho autor el nicho se presenta como una colección de variables bióticas y abióticas en el cual los organismos sobreviven sin necesidad de emigrar. Concibe el nicho ecológico como un espacio teórico delimitado, un “hipervolumen de n dimensiones” en el que cada dimensión es una variable que mantiene o no vivo a ese organismo y está definido por los intervalos de tolerancia de una especie; estos intervalos determinan la sobrevivencia de la misma y a este concepto se le conoce como nicho fundamental.

Posteriormente, MacArthur (1972) define el nicho ecológico como un conjunto de condiciones ecológicas dentro de las cuales las especies pueden mantener poblaciones sin necesidad de que se presente inmigración (Nakazawa, 2003).

Recientemente, Díaz-Porras (2006) propuso la siguiente definición: “el nicho ecológico se puede entender como el hipervolumen n-dimensional compuesto de variables bióticas y abióticas dentro del cual las poblaciones pueden sobrevivir sin necesidad de inmigración debido a la capacidad genéticamente determinada (límite de tolerancia) y el patrón de respuesta biológica de un individuo, una población o una especie a las condiciones ambientales”, haciendo de esta definición una de las más completas, ya que integra los distintos enfoques del término.

## NICHO FUNDAMENTAL

Entendido como el intervalo total de condiciones ambientales bajo las cuales una especie puede sobrevivir en ausencia de interacciones bióticas (Smith y Smith, 2002); en los modelos predictivos se obtiene como resultado una aproximación al nicho fundamental y es una aproximación debido a que es muy difícil conocer todas las dimensiones del hipervolumen, por lo que sólo se introducen a los modelos predictivos algunas de éstas como la precipitación, temperatura y datos topográficos.

## NICHO EFECTIVO

El nicho efectivo es definido por Hutchinson (1957) como la porción del nicho fundamental en la que, en el presente, se encuentra una población y además tiene interacciones bióticas.

## OBJETIVO GENERAL

- Contribuir a la biogeografía y conservación de *Nopalxochia phyllanthoides*.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Delimitar el área de distribución geográfica de *Nopalxochia phyllanthoides*.
- Obtener el área de distribución potencial de *Nopalxochia phyllanthoides* mediante los programas GARP y MAXENT.
- Evaluar la distribución conocida y la distribución potencial del taxón en relación a los programas de Áreas Naturales Protegidas y Regiones Terrestres Prioritarias, con el fin de conocer su representatividad en dichos programas y sugerir propuestas para su conservación.
- Aplicar los resultados obtenidos de distribución a los parámetros del MER con la finalidad de evaluar su estatus de conservación.

## MATERIAL Y MÉTODO

Los datos de distribución geográfica de *Nopalxochia phyllanthoides* se obtuvieron a partir de la consulta de ejemplares en los siguientes herbarios: Herbario Nacional del Instituto de Biología, UNAM (MEXU), Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN (ENCB), Herbario del Instituto de Ecología A.C. en Xalapa (XAL), Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME), Herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa (UAM-I), Herbario de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM (IZTA), así como datos tomados directamente en campo. Se realizó una base de datos que consta de 23 registros, para los ejemplares que no presentaron datos de coordenadas geográficas del sitio de colecta, éstas se obtuvieron con ayuda de mapas topográficos a escalas 1:250,000 y 1:50,000 de INEGI además del Nomenclátor de localidades de Ortíz-Bermúdez (2004). Debido a la resolución de las capas ambientales (celdas de 1 km<sup>2</sup>), de aquellos especímenes que cuentan con registros de colecta muy cercanos uno de otro (área menor a 1 km<sup>2</sup>) solo se tomó un punto por celda para los análisis de los modelos predictivos (Pearson *et al.*, 2006), obteniendo así 15 localidades, de las restantes tres localidades, dos fueron utilizadas para corroborar los modelos predictivos y el último registro fue colectado de un jardín botánico. Se realizaron cuatro salidas entre septiembre de 2008 a mayo de 2009 a los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz para corroborar los modelos de nicho ecológico.

## ÁREA DE DISTRIBUCIÓN

El área de distribución de una especie es el área habitada por la misma (Espinosa *et al.*, 2002), donde dicha especie interactúa en forma constante con el entorno. Esta área puede sufrir modificaciones, tales como: expansión, contracción, desplazamiento, fragmentación y otras alteraciones, antes de que llegue a su extinción la especie ocupante (Zunino y Zullini, 2003). Además, se pueden considerar cuatro tipos de factores que determinan las áreas en las cuales las especies se encuentran: 1. condiciones abióticas; 2. factores bióticos como el conjunto de interacciones con otras especies que modifican la habilidad de otra especie para mantener una población; 3. regiones accesibles para la dispersión de las especies a partir de algún área original; 4. la capacidad evolutiva de las poblaciones para adaptarse a nuevas condiciones. Estos factores interactúan entre sí a diferentes escalas e intensidades para producir una entidad compleja y fluida conocida como área de distribución (Soberón y Peterson, 2005).

Existen varios métodos para delimitar el área de distribución de un taxón; entre ellos se encuentra el método de cuadrículas (gradilla) y el método de la propinquidad media (areográfico) (Rapoport, 1975).

El método de la gradilla básicamente consiste en emplear un mapa cuadrulado en el que se rellenan todas las cuadrículas donde se encuentren las localidades conocidas de la especie. La forma y número de áreas que se reconocerán

dependerán de la resolución espacial elegida para los cuadros (Rapoport, 1975). El problema de este método es que se pueden utilizar cuadrículas de diferentes tamaños y así sobreestimar o subestimar el área de distribución del taxón. Para este método se ocuparon cuadrículas de 0.1 grados de lado (6 minutos  $\approx$  11.112 Km), realizadas y proporcionadas por Othón Alcántara Ayala.

En el método de la propincuidad media se compactan las localidades conocidas utilizando círculos concéntricos a cada localidad (Rapoport, 1975), tomando como radio el promedio de la distancia de los datos. En este método el problema radica en la distancia que separa cada registro del taxón, ya que si se encuentra un registro a gran distancia de los demás, la circunferencia de todos los registros aumentará, llegando al problema del método anterior, sobreestimación y subestimación.

## DISTRIBUCIÓN POTENCIAL

El área de distribución potencial es aquella área que cuenta con las condiciones ecológicas necesarias para que la especie potencialmente se distribuya en ese lugar. Es el área que resulta después de haber analizado y depurado el modelo de nicho fundamental.

Los métodos para modelar distribuciones geográficas son muy diversos, entre ellos se encuentran el algoritmo GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction, por sus siglas en inglés) (Stockwell y Noble, 1992) y MAXENT (Phillips *et al.*,

2004, 2006), los cuales funcionan con diferentes principios, pero tratan de llegar al mismo resultado: aproximación al nicho fundamental.

La información indispensable para generar estos modelos consiste en datos geográficos (variables ambientales) y datos biológicos (puntos de colecta) con los cuales los programas realizarán el análisis.

Las variables ambientales (capas de información ambiental) se obtuvieron de la página electrónica Worldclim (<http://www.worldclim.org/2>), que son un conjunto de 19 capas globales de clima en formato raster con una resolución espacial de un kilómetro de lado y tres capas topográficas provenientes de USGS Hydro-1K (<http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>), de un kilómetro de lado (Cuadro 2); estas capas se recortaron usando un script Garp para Arcview 3.2 (ESRI, 1999) y se obtuvieron dos archivos para que en ambos programas se utilizaran estas capas.

Cuadro 2. Parámetros utilizados para generar los mapas de distribución potencial de *Nopalxochia phyllanthoides*:

- 
1. Temperatura promedio anual (°C)
  2. Oscilación diurna de la temperatura (°C)
  3. Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
  4. Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
  5. Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)
  6. Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
  7. Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
  8. Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
  9. Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
  10. Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
  11. Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
  12. Precipitación anual (mm)
  13. Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
  14. Precipitación del periodo más seco (mm)
  15. Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
  16. Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
  17. Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
  18. Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
  19. Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)
  20. Elevación
  21. Pendientes
  22. Índice Topográfico Compuesto
- 

Debido a los pocos registros de la especie, se realizó una prueba de “jackknife” para ambos modelos, siguiendo la propuesta de Pearson *et al.* (2007), donde cada localidad observada fue removida una vez del conjunto de datos y los modelos se construyeron usando las restantes  $n - 1$  localidades. Entonces, para  $n$  localidades observadas,  $n$  modelos independientes fueron construidos.

## GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction)

El programa GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction, por sus siglas en inglés) (Stockwell y Noble, 1992) es un algoritmo que funciona de manera iterativa, siguiendo una rutina de producción, evaluación, modificación e integración de reglas (condicionantes ambientales), determinando aquellas zonas con características semejantes a las dadas para la especie en cuestión para formar sus modelos (Sánchez-Cordero *et al.*, 2001).

Este algoritmo genera los modelos considerando sólo condiciones ambientales que están presentes en el sitio de colecta de la especie y no considera características biológicas ni históricas (Nakazawa, 2003), pero es una buena aproximación al nicho fundamental de la especie; ha sido probado exitosamente con taxones animales (Peterson y Robins, 2003; Peterson *et al.*, 2002; Wiley *et al.*, 2003; Raxworthy *et al.*, 2003; Godown y Peterson, 2000).

Para elaborar los modelos se utilizó el software DesktopGarp versión 1.1.6 (<http://beta.lifemaper.org/desktopgarp>), se realizaron 100 repeticiones para obtener los 10 mejores modelos (best subsets) de acuerdo con la propuesta de Anderson *et al.* (2003), que consiste en seleccionar 20 modelos con un umbral de 5% de error de omisión. De estos modelos, se eligió el 50% más cercanos a la mediana del área de distribución predicha para obtener finalmente los 10 mejores modelos (best subsets) del nicho ecológico fundamental.

Los modelos se sumaron con la ayuda del programa ArcView 3.2 (ESRI, 1999) para obtener un mapa consenso.

## MAXENT

Este programa fue desarrollado por Phillips *et al.* (2004); está basado en el principio de la máxima entropía, propuesto por Shanon (1948) en la teoría de la información.

De acuerdo a la teoría de la información, la cantidad de información contenida en una comunicación determina en qué estado se encuentra un sistema, es un valor que va a depender directamente del grado de incertidumbre del sistema (la incertidumbre se determina por el número de posibles estados y además por las probabilidades de que se encuentre en tales estados): a mayor incertidumbre, mayor es la cantidad de información que se obtiene al saber el estado que ha ocupado éste y viceversa (Fernández-García, 1975).

La entropía, dentro de la teoría de la información, es una medida de la incertidumbre de un sistema (espacio geográfico), es decir qué tanto se desconoce ese sistema; al tener un mayor número de posibles estados (puntos geográficos), en donde cada uno de ellos puede aparecer con la misma probabilidad, hay una mayor incertidumbre de cuál de estos estados aparecerá en el análisis.

En biogeografía, considerando el área de distribución, la máxima entropía se alcanza cuando todos los puntos geográficos de un área son equiprobables, es decir, todos los puntos del área tengan la misma probabilidad de aparecer.

El programa construye una distribución de probabilidades, de 0 a 1, donde 1 es la ubicación del taxón, es decir la coordenada geográfica, el sistema o espacio geográfico son las capas ambientales; cada capa ambiental tiene diferentes valores, para obtener el mejor modelo de distribución se calcula el mejor estimado de la distribución conocida, o sea los valores más cercanos a 1, encontrando así la máxima entropía.

Para obtener el modelo de predicción, se introdujeron los registros geográficos en un archivo “.csv” además de las variables ambientales en formato ASCII, y se dejaron los parámetros preestablecidos del programa; el mapa resultante se exportó al programa ArcView 3.2 (ESRI, 1999). A diferencia del GARP, el programa MAXENT arroja siempre el mismo resultado, pues el algoritmo que usa GARP es un algoritmo genético, el cual, dentro de su análisis realiza cambios o mutaciones a los datos, estas mutaciones son evaluadas dentro del modelo, por lo que diferentes arreglos de los datos pueden dar soluciones satisfactorias para el programa, por lo que tiende a variar el modelo en cada uso. Ambos programas trabajan únicamente con puntos de presencia, es decir con localidades de las que se tiene registro, sin contar con localidades de ausencia; no obstante, los registros proveen de información útil con respecto a los requerimientos ambientales de las especies (Pearson y Dawson, 2003).

Con ayuda del programa ArcView 3.2 (ESRI, 1999) se sobrepusieron los modelos generados con GARP y MAXENT con el mapa de las Regiones Terrestres Prioritarias para la conservación (RTP) (Arriaga *et al.*, 2000) y el mapa de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2007), con el fin de conocer su representatividad en estos programas.

## MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EXTINCIÓN DE LAS ESPECIES SILVESTRES EN MÉXICO (MER)

Este método considera cuatro criterios independientes:

A. Amplitud de la distribución del taxón en México. Tamaño relativo del ámbito de distribución natural actual en México; se consideran cuatro clases:

1. muy restringida = 4 puntos. Aplicada tanto a especies microendémicas como para especies principalmente extralimitales con escasa distribución en México (menor al 5% del territorio nacional).
2. restringida = 3 puntos. Incluye especies cuya distribución se encuentra entre el 5 y el 15% del territorio nacional.
3. medianamente restringida o amplia = 2 puntos. Incluye aquellas especies cuya distribución es mayor al 15%, pero menor al 40% del territorio nacional.

4. ampliamente distribuidas = 1 punto. especies que ocupan más del 40% del territorio nacional.

Para obtener la puntuación de este criterio se utilizó el resultado obtenido por los métodos de distribución potencial, propinuidad media y cuadrículas.

B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón. Es el conjunto actual estimado de efectos del hábitat particular, con respecto a los requerimientos conocidos para el desarrollo natural del taxón que se analiza, en términos de las condiciones físicas y biológicas; considera tres valores:

1. Hostil o muy limitante = 3
2. Intermedio o limitante = 2
3. Propicio o poco limitante = 1

C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón. Es el conjunto de factores relacionados con la historia o forma de vida propios del taxón, que lo hacen vulnerable. Dependiendo de la disponibilidad de información específica, algunos ejemplos de dichos factores pueden ser: estrategia reproductiva, parámetros demográficos, historia de vida, fenología, intervalos de tolerancia, parámetros fisicoquímicos y tasa de reclutamiento, entre otros. Considera 3 valores: vulnerabilidad alta, media y baja, con 3, 2 y 1 puntos respectivamente.

D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón. Es una estimación numérica de la magnitud del impacto y la tendencia que genera la influencia humana sobre el taxón que se analiza. Considera aspectos como la presión por asentamientos humanos, fragmentación del hábitat, contaminación, uso, comercio y tráfico, entre otras. Cuenta con tres niveles:

1. alto impacto = 4
2. impacto medio = 3
3. bajo impacto = 2

Por último, se realiza una sumatoria para asignar las categorías de riesgo (SEMARNAT, 2002).

## RESULTADOS

Con base en los datos de distribución geográfica obtenidos a partir de la consulta de herbarios (Cuadro 3), trabajo de campo y literatura se realizó un mapa de la distribución puntual de *Nopalxochia phyllanthoides* (Fig. 3), en la cual se observa que se distribuye en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, abarcando la parte sur de la provincia de la Sierra Madre Oriental. Así mismo, de acuerdo a la información contenida en los ejemplares de herbario y las observaciones en campo, se reconoció que este taxón puede encontrarse como epífita (Cuadro 4), epilítica o rupícola, preferentemente en bosque mesófilo de montaña, en un intervalo altitudinal que va de los 1350 a los 1850 msnm.

Se realizaron cuatro salidas a los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, donde se colectaron siete ejemplares (uno por localidad visitada), los cuales fueron depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias (FCME), además de obtener información sobre el medio en el que se desarrolla de manera natural, así como documentar los problemas relacionados con su supervivencia.

Cuadro 3. Colecciones visitadas para obtener registros de *Nopalxochia phyllanthoides*.

Colección	Siglas	# ejemplares
Herbario Nacional del Instituto de Biología, UNAM	MEXU	4
Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN	ENCB	3
Herbario del Instituto de Ecología A.C. en Xalapa	XAL	7
Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM	FCME	1
Herbario de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM	IZTA	1*
Herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa	UAM-I	0

\* Ejemplar proveniente del jardín botánico del bosque de Chapultepec.

Cuadro 4. Forofitos en los que ha sido observada y/o colectada *Nopalxochia phyllanthoides*.

*Cyathea mexicana*  
*Quercus eugenifolia*  
*Quercus germana*  
*Quercus* sp.  
*Carpinus caroliniana*  
*Turpinia* sp.  
*Clethra mexicana*  
*Ostrya virginiana*  
*Liquidambar macrophylla*  
*Alnus jorullensis*  
*Erythrina* sp.  
*Magnolia schiedeana*  
*Crataegus mexicana*  
Lauraceae  
Tronco muerto

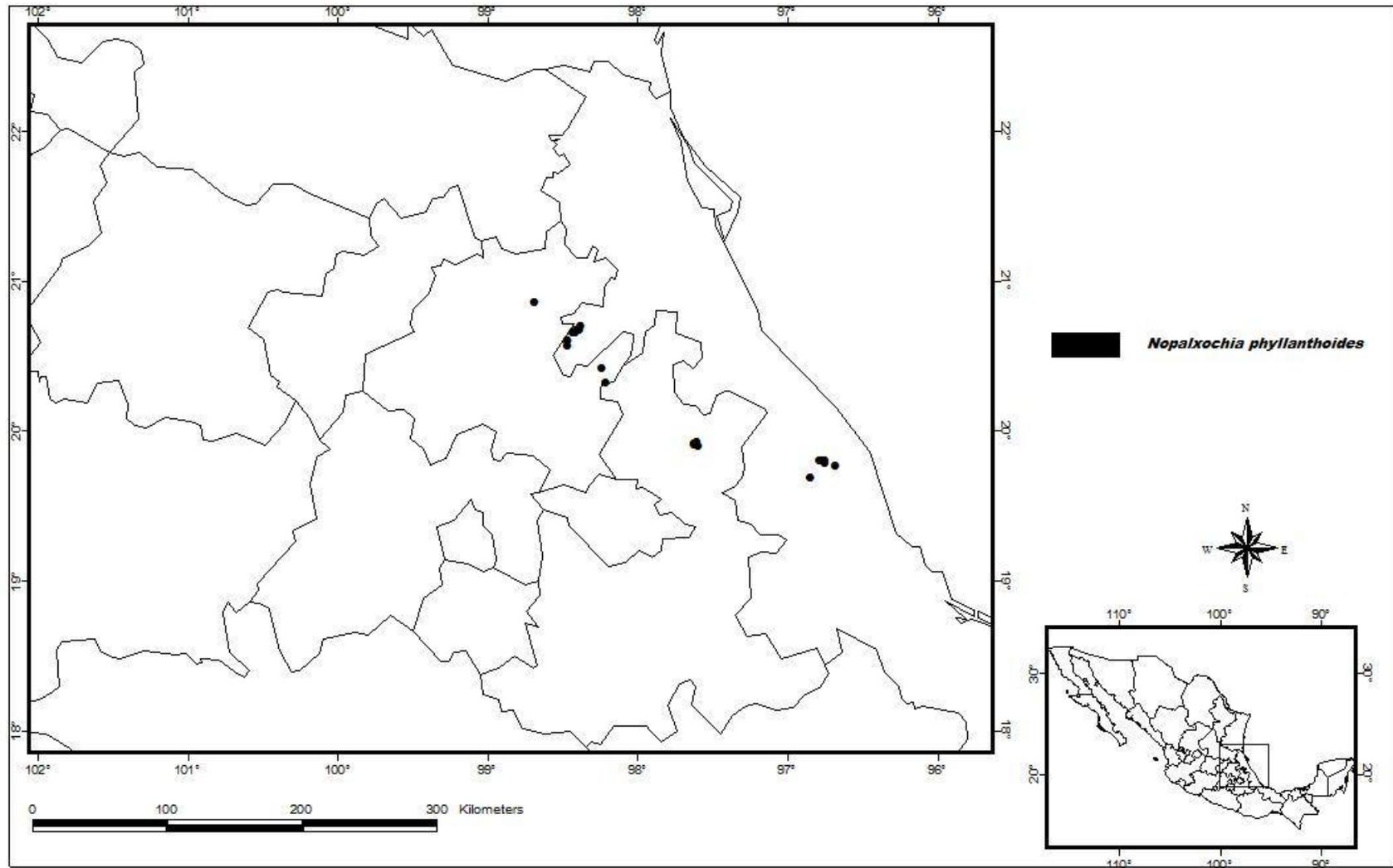


Figura 3. Distribución puntual de *Nopalxochia phyllanthoides*.

Se calculó la superficie ocupada por la especie para cada uno de los enfoques mencionados en la metodología, obteniendo para el método de cuadrículas 1481.71 km<sup>2</sup> (Fig. 4), mientras que para el método de la propincuidad media fue de 5460.31 km<sup>2</sup> (Fig. 5).

Después de realizar la prueba “jackknife” para ambos análisis se sumaron los modelos generados por cada programa para obtener un consenso de cada uno, obteniendo así que la superficie obtenida con el programa GARP fue de 1960 km<sup>2</sup> (Fig. 6), mientras que la superficie obtenida con el programa MAXENT fue de 3124 km<sup>2</sup> (Fig. 7).

Cabe mencionar que el MAXENT tuvo un mejor desempeño en el análisis ya que de los 24 registros totales (15 para correr los modelos [Cuadro 5], dos obtenidos del herbario ENCB posteriores a la realización de los modelos y 7 de verificación en campo) el 95.83% fue predicho con certeza, mientras que para GARP solo el 75% (Cuadro 6).

Cuadro 5. Localidades conocidas de *Nopalxochia phyllanthoides*.

Estado	Municipio	Localidad	Herbario	Altitud m.s.n.m.	Hábito
Veracruz	Huayacocotla	Miguel Lerdo	ENCB	1850	epífita
Veracruz	Huayacocotla	Entre Ocote y Agua de la Calabaza, 14 Km al NE de Huayacocotla	XAL	1650	epilítica
Veracruz	Yecuatla	Entre Plan de la Escalera y el rincón arriba de progreso	XAL	1200	epífita
Veracruz	Juchique de Ferrer	El cerro de Villa Rica, cerca de plan de la flor	XAL	1250	epífita
Veracruz	Zontecomatlán	Camino Huayacocotla-Zontecomatlán, 1 km al NE de San Antonio Ixtatetla	XAL	1300	epífita
Veracruz	Juchique de Ferrer	Cerro de Villa Rica, arriba de Plan de la flor	XAL	1400	<i>Quercus sp.</i>
Veracruz	Chiconquiaco	Chiconquiaco	XAL	—	epífita
Veracruz	Huayacocotla	—	XAL	—	epífita
Veracruz	Huayacocotla	Río Tolvea	MEXU	—	<i>Liquidambar macrophylla</i>
Veracruz	Juchique de Ferrer	La Cima Plan de las Hayas	MEXU	1700	epífita
Veracruz	Huayacocotla	Miguel Lerdo	MEXU	1850	epífita
Veracruz	Chiconquiaco	Sierra de Chiconquiaco (Naolinco-Misantla)	MEXU	—	<i>Quercus sp.</i>
Puebla	Zacapoaxtla	Río Apulco, al oeste de Huahuaxtla	Meyrán (1962)	1550	epilítica
Hidalgo	Lolotla	Lolotla a 2.16 Km de Chalma	FCME	1420	epífita
Hidalgo	Tenango de Doria	El Damó	Datos de campo	1595	<i>Alnus sp.</i>

Cuadro 6. Porcentaje de éxito en la predicción de ambos algoritmos.

	MAXENT		GARP		
	Éxito	Porcentaje	Éxito	Porcentaje	
Total de registros	24	23	95.83	18	75

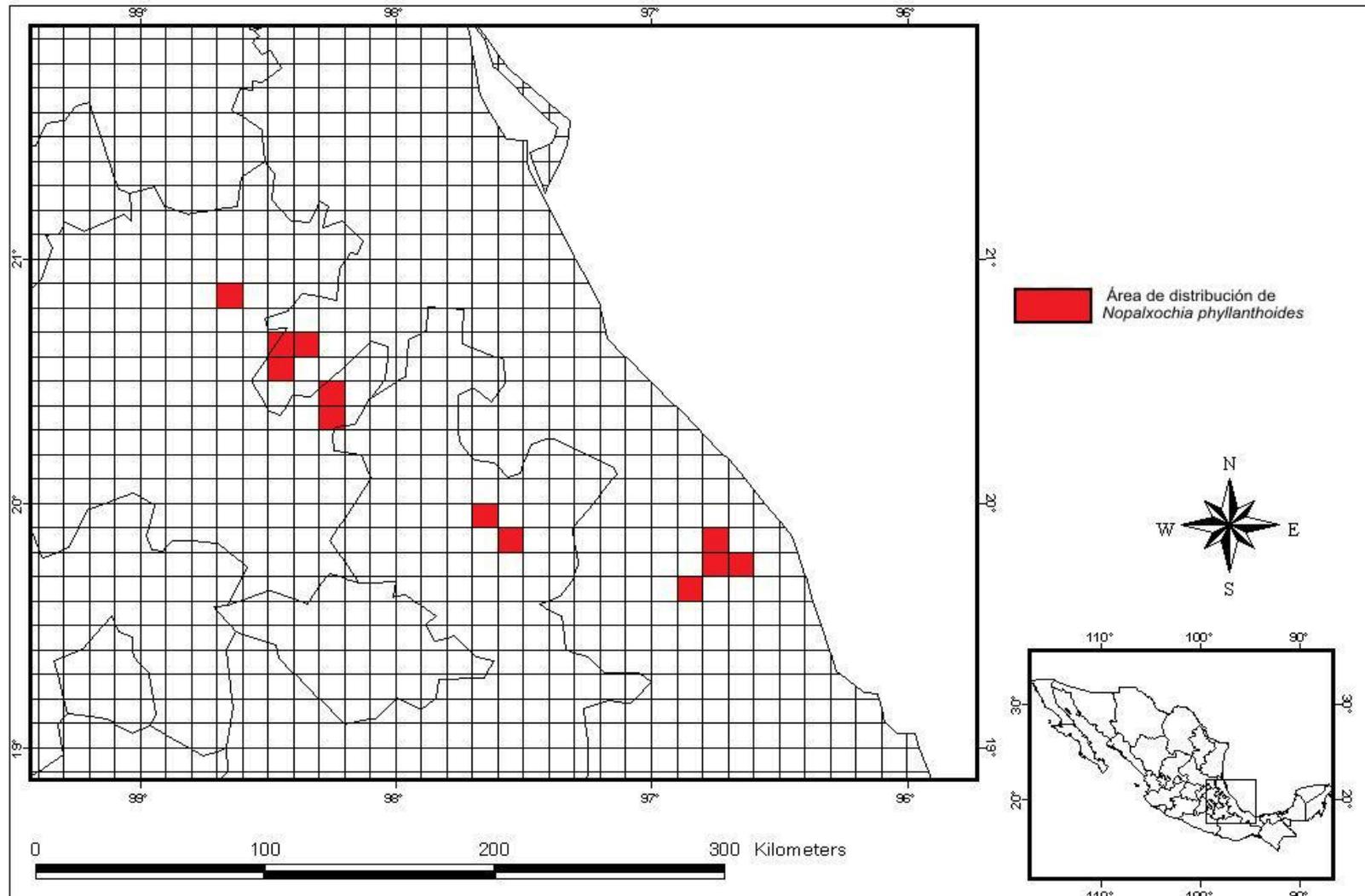


Figura 4. Área de distribución de *Nopalxochia phyllanthoides* mediante el método de cuadrículas (cuadrículas de 0.1° de lado).

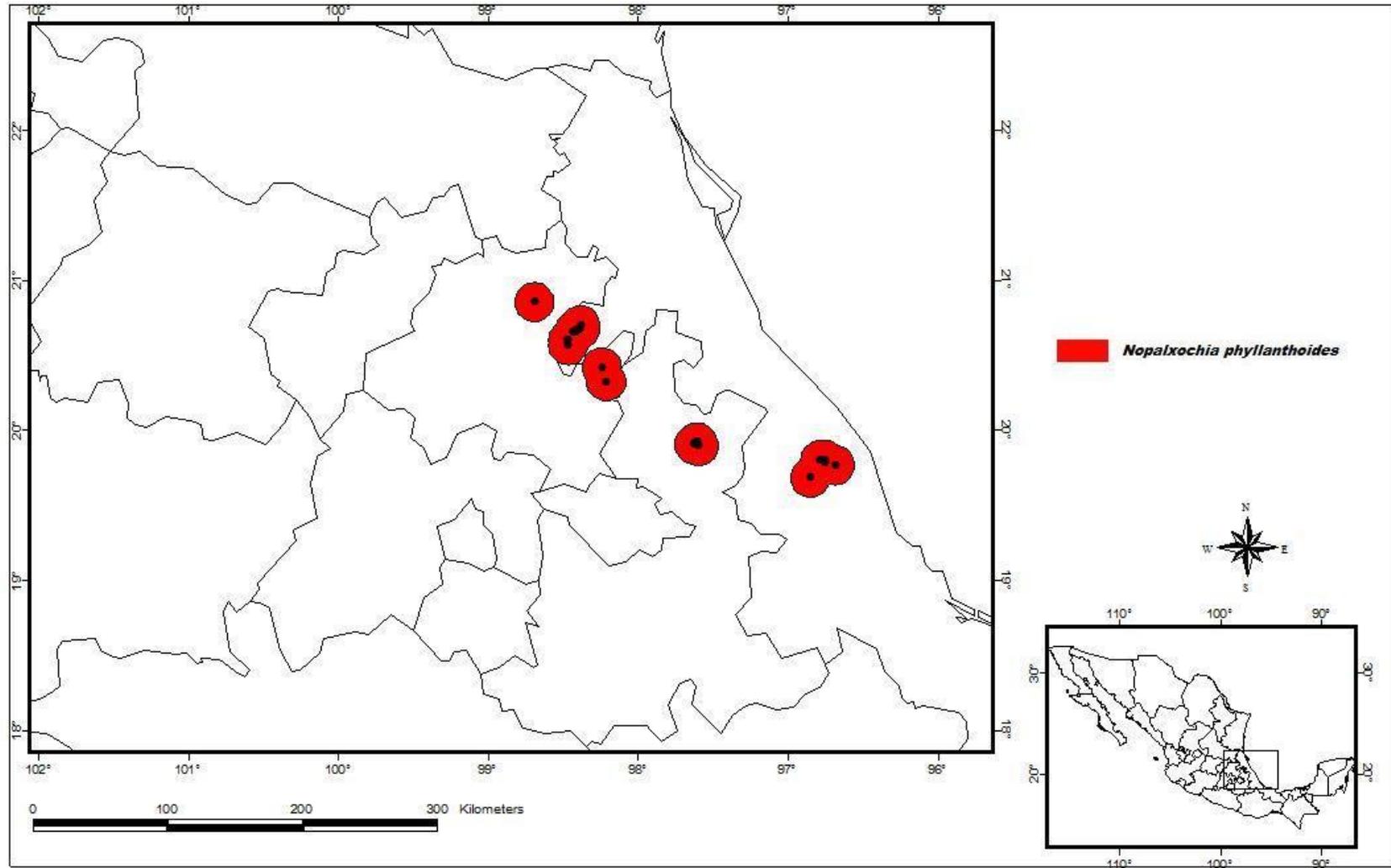


Figura 5. Área de distribución de *Nopalxochia phyllanthoides*, a partir del método de propincuidad media, con un radio de 14.47 km.

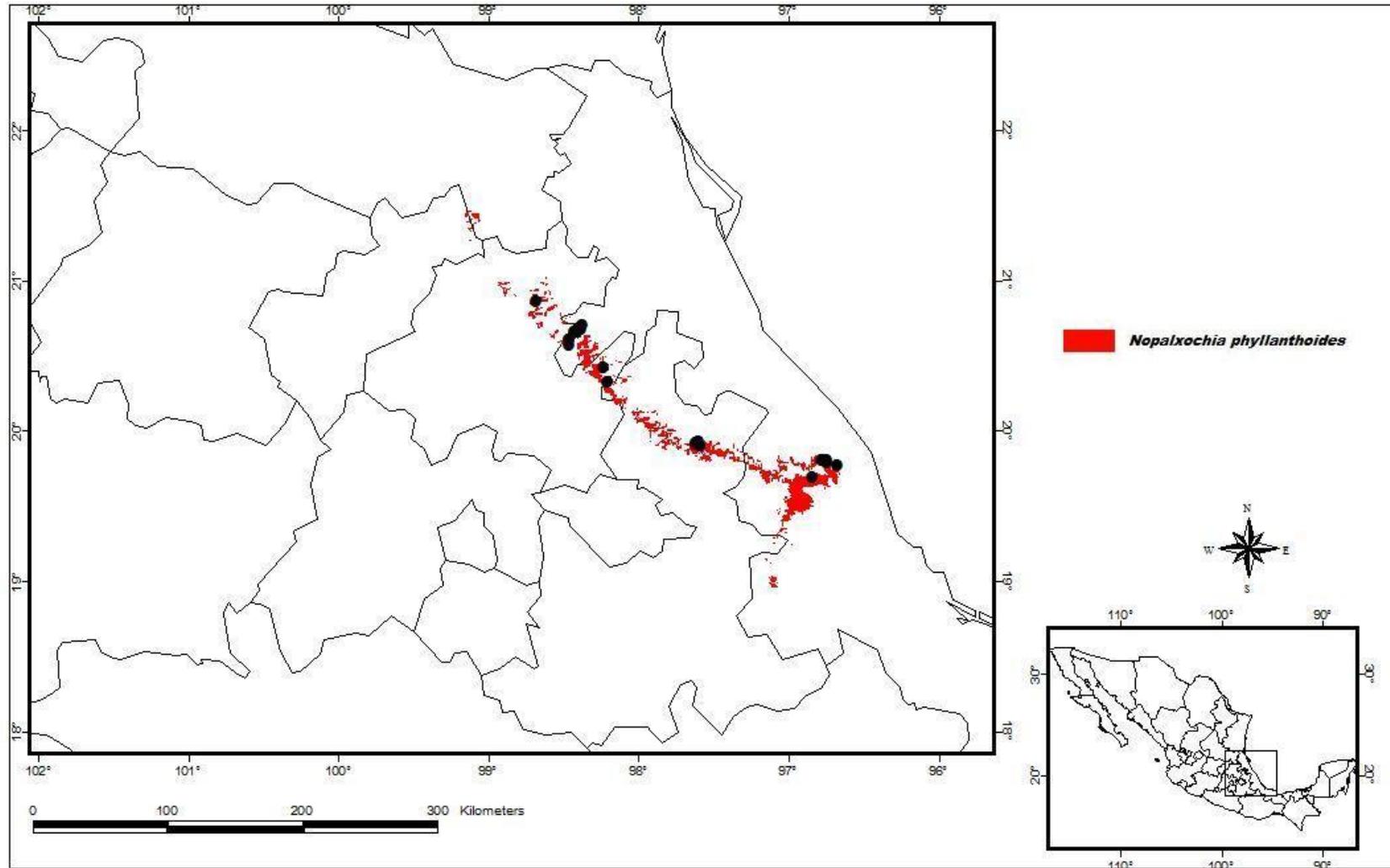


Figura 6. Área de distribución potencial de *Nopalxochia phyllanthoides* obtenida con el programa GARP.

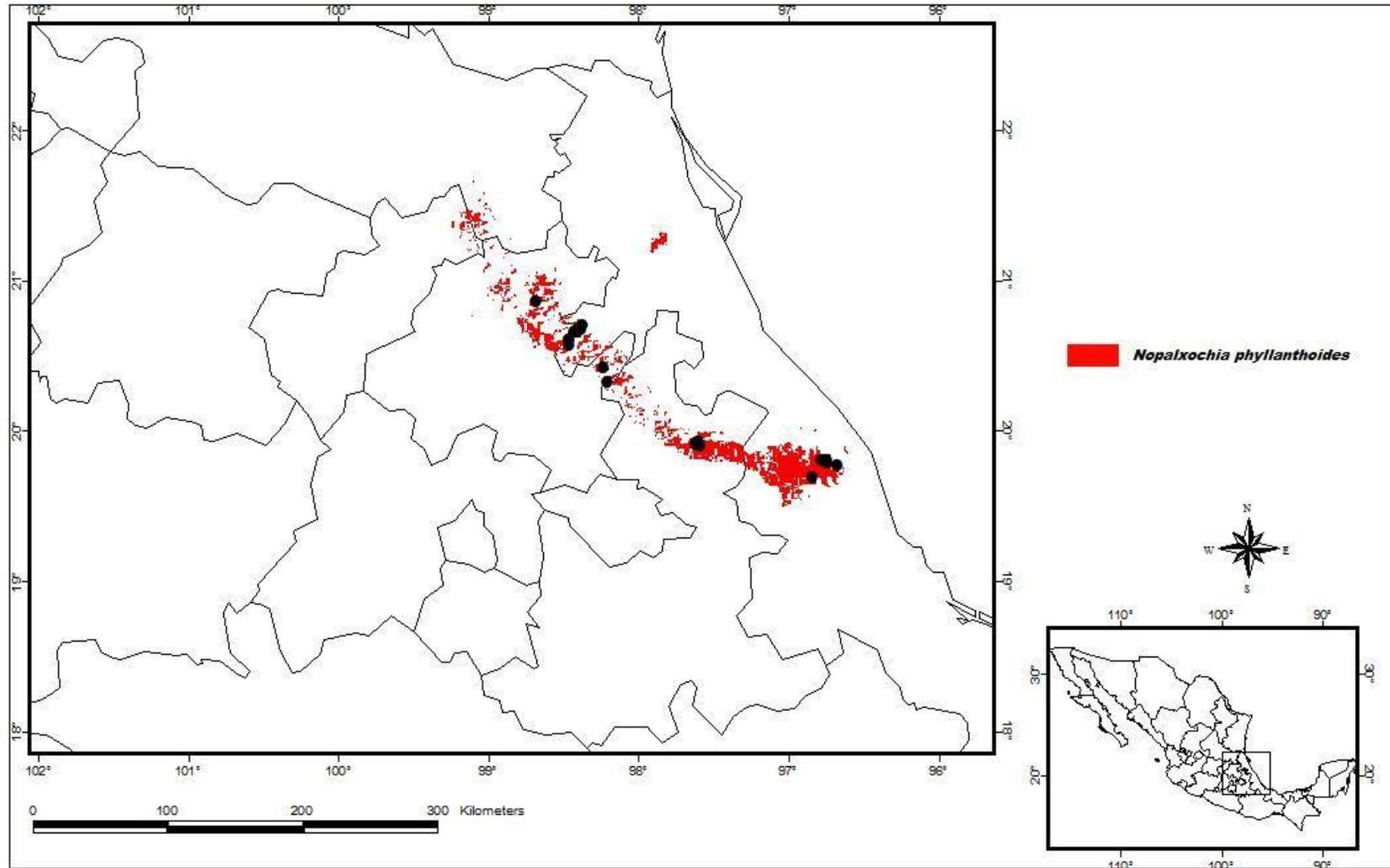


Figura 7. Área de distribución potencial de *Nopalxochia phyllanthoides* obtenida con el programa MAXENT.

A partir de los modelos obtenidos por los diferentes métodos se construyó una gráfica comparativa entre método y superficie (km<sup>2</sup>) (Fig. 8). El análisis que abarcó la mayor superficie fue el de la propincuidad media y el de menor superficie fue el de cuadrículas, esto es debido a las características propias de cada método. Las posiciones intermedias las ocuparon los modelos GARP y MAXENT, siendo los que mejor representan el área de distribución porque toman en cuenta variables ambientales propias del taxón bajo estudio.

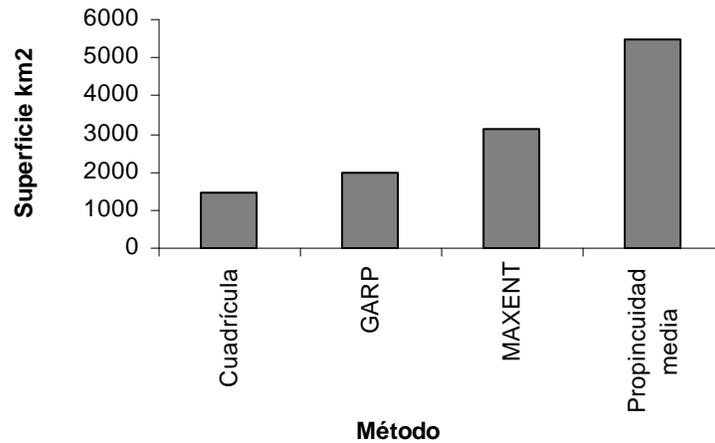


Figura 8. Gráfica comparativa de las superficies obtenidas por los diferentes métodos utilizados para delimitar el área de distribución.

La distribución puntual de *Nopalxochia phyllanthoides* fue contrastada y comparada con los modelos generados con GARP (Fig. 6) y MAXENT (Fig. 7), con el fin de detectar sitios de colecta ausentes en el modelo (error de omisión) (Anderson *et al.*, 2003), obteniendo que todos los puntos que fueron utilizados para generar los modelos coinciden con la predicción de GARP; en el caso de MAXENT un registro no cae dentro de la predicción, no obstante, de las salidas a

campo para corroborar la predicción, donde se obtuvieron siete registros y dos registros obtenidos a la postre de la realización de los modelos para MAXENT todos los nuevos registros coinciden con la predicción, no así los de GARP. Por otro lado, también se presentan errores de comisión, esto es regiones potencialmente habitables por la especie, pero donde ésta no se encuentra. Este tipo de modelos normalmente suelen indicar áreas habitadas por especies cercanamente relacionadas, áreas donde la especie se ha extinto o áreas donde la dispersión no ha sido exitosa (Anderson *et al.*, 2003).

Los modelos generados por los programas GARP y MAXENT coinciden con dos y tres ANP's respectivamente, las cuales son: para GARP: la Reserva de la Biosfera (RB) Sierra Gorda y la Zona Protectora Forestal Vedada (ZPFV) Cuenca hidrográfica del Río Necaxa (Fig. 9). Para el caso de MAXENT: las RB Sierra Gorda y Barranca de Metztitlán y la ZPFV mencionada anteriormente (Fig. 10). A su vez ambas predicciones coinciden con cinco RTP's, las cuales son: encinares tropicales de la planicie costera Veracruzana, Pico de Orizaba-Cofre de Perote, Cuetzalan, bosques mesófilos de la Sierra Madre Oriental y Sierra Gorda-Río Moctezuma (Fig. 11 y 12).

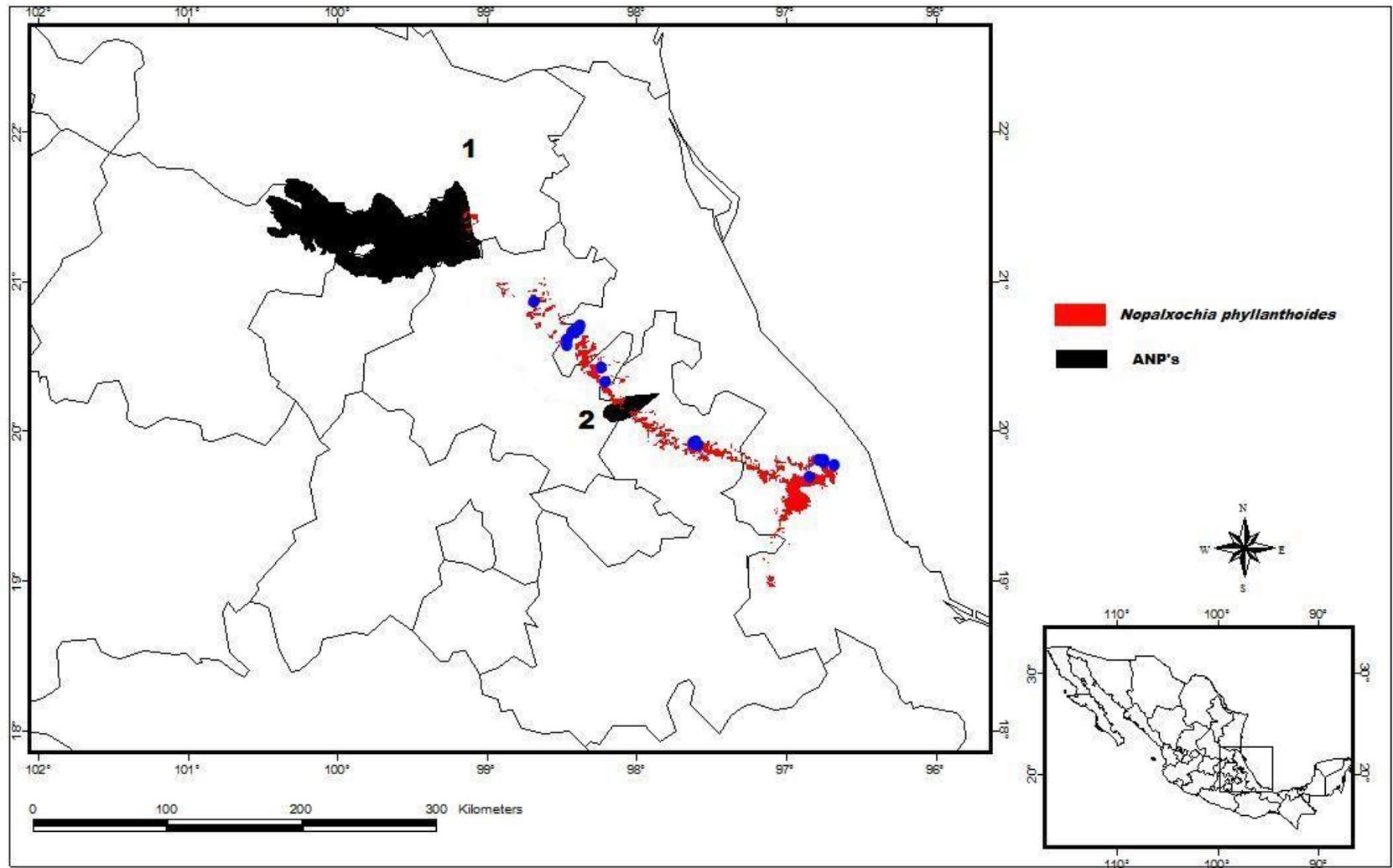


Figura 9. ANP's que coinciden con el modelo de GARP: (1) RB Sierra Gorda, (2) ZPFV Cuenca hidrográfica del Río Necaxa.

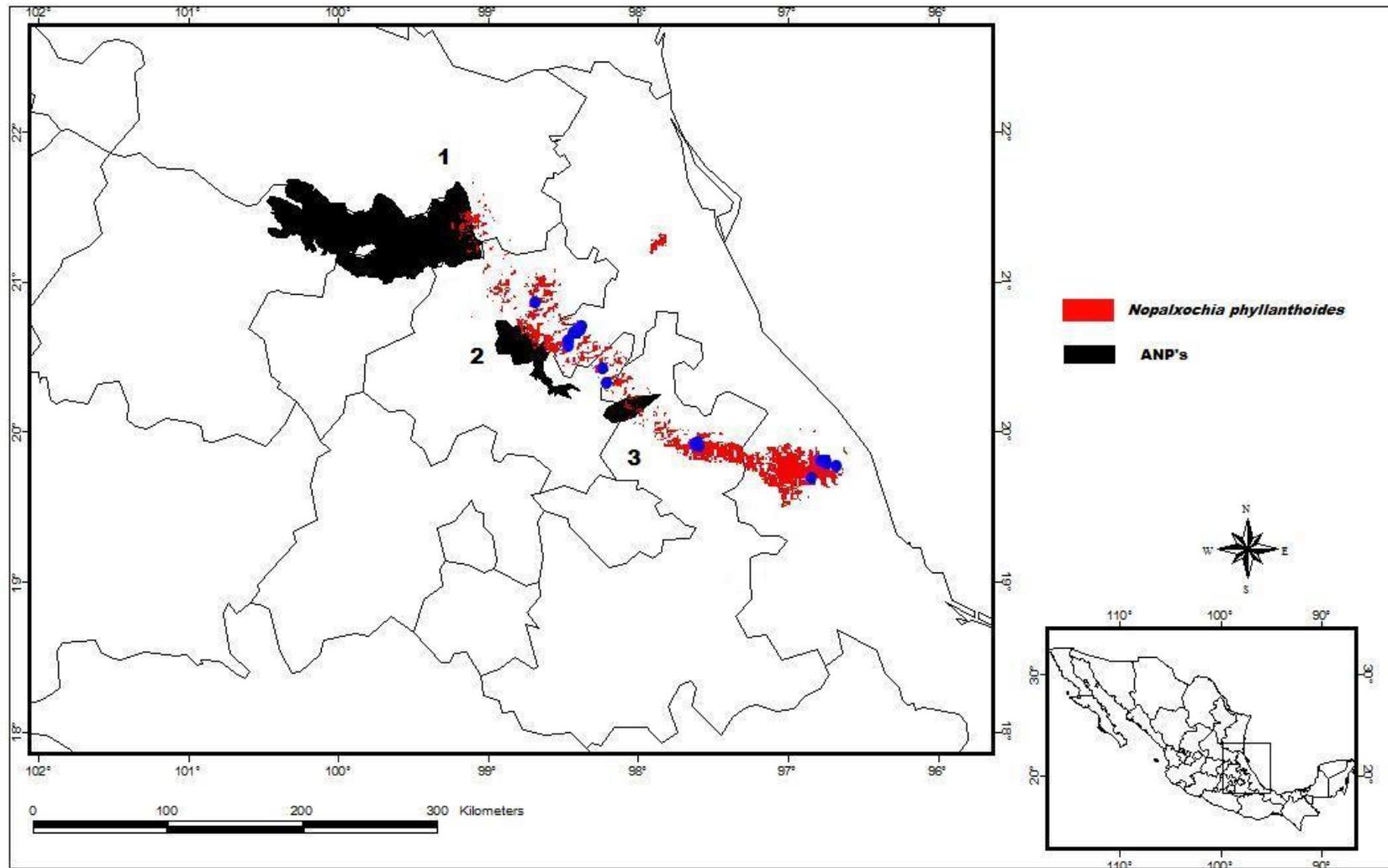


Figura 10. ANP's que coinciden con el modelo de MAXENT: (1) RB Sierra Gorda, (2) RB Barranca de Metztitlán, (3) ZPFV Cuenca hidrográfica del Río Necaxa.

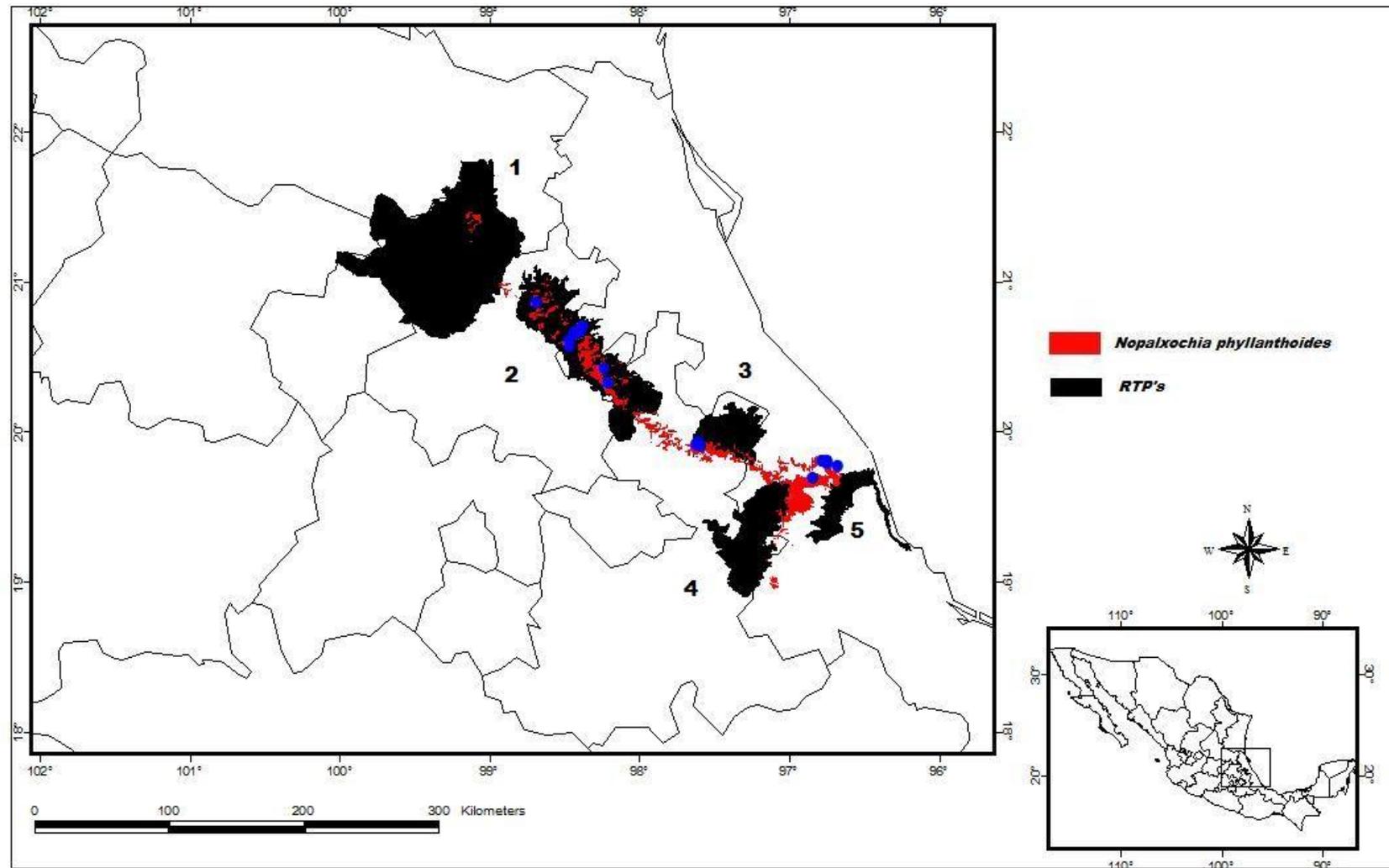


Figura 11. RTP's que coinciden con el modelo de GARP: (1) Sierra Gorda-Río Moctezuma, (2) bosques mesófilos de la Sierra Madre Oriental, (3) Cuetzalan, (4) Pico de Orizaba-Cofre de Perote y (5) encinares tropicales de la planicie costera Veracruzana.

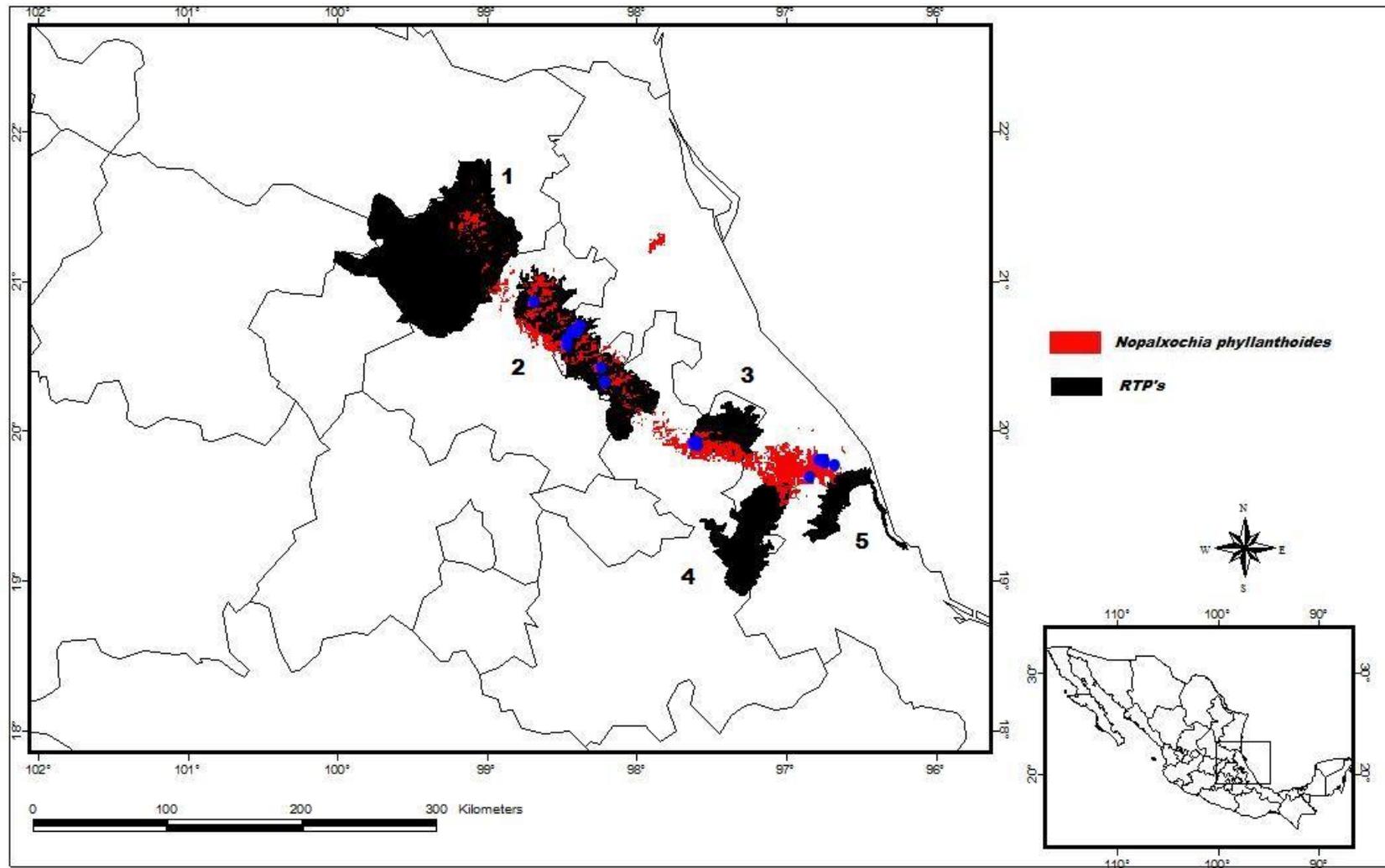


Figura 12. RTP's que coinciden con el modelo de MAXENT: (1) Sierra Gorda-Río Moctezuma, (2) bosques mesófilos de la Sierra Madre Oriental, (3) Cuetzalan, (4) Pico de Orizaba-Cofre de Perote y (5) encinares tropicales de la planicie costera Veracruzana.

## Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER)

De acuerdo con los resultados obtenidos por los métodos utilizados en el presente trabajo para determinar el área de distribución de un taxón y siguiendo el criterio A del MER, se observa que el área obtenida para la especie es en todos los casos una distribución muy restringida debido a que ocupa menos del 1% del territorio nacional (Cuadro 7), por lo que se le asigna un valor de 4 puntos.

Cuadro 7. Porcentaje del territorio nacional obtenido de los diferentes métodos para dibujar áreas de distribución.

<b>Método</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% territorio nacional</b>
Territorio nacional	1,964 375	100
Cuadrículas	1481.71	0.075
Propinccuidad	5460.31	0.277
GARP	1968	0.1
MAXENT	3124	0.15

En cuanto a los criterios B y D se les asigna el valor hostil o muy limitante con valor de 3 puntos y de alto impacto, es decir 4 puntos, respectivamente. La causa de ésto es que la distribución del taxón en su mayoría es concordante con la de algunos bosques mesófilos de montaña pertenecientes a la Sierra Madre Oriental, mismo que ocupa menos del 1% de la superficie total del país (Rzedowski,1978) y presenta una distribución altamente fragmentada que a su vez, está sometido a diversas presiones tales como uso de terreno para asentamientos humanos, pastoreo, agricultura, deforestación, provocando erosión y suelos infértiles hasta por miles de años (Luna y Alcántara, 2004; Luna *et al.* 2006; Ponce-Vargas *et al.*,

2006). En la salida realizada al estado de Puebla, se observaron algunas poblaciones de la especie, localizadas en lugares casi inaccesibles (en paredes de hasta 100 m de altura) y en floración. No obstante algunas de ellas están en canteras actualmente en explotación, camino a la localidad de Atzalan, por lo que corren riesgo de ser destruidas por la extracción de roca.

Al realizar la sumatoria de los criterios A, B y D se obtuvo un total de 11 puntos (sin incluir el criterio C), la cual coloca a la especie como amenazada (A), concordando así con la categoría de riesgo actual; sin embargo hacen falta estudios para el criterio C.

## DISCUSIÓN

### ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN

Los métodos utilizados en este trabajo para calcular el área de distribución del taxón son los más usados para este fin, sin embargo presentan errores inherentes a cada uno. Los cuatro métodos llegan a sobreestimar o subestimar las áreas de distribución ya que, en el caso de las cuadrículas, el tamaño del área dependerá del tamaño de cuadro que se utilice, por ejemplo, de haberse empleado cuadros de  $1^\circ \times 1^\circ$ , el área de distribución del taxón en el mapa, abarcaría partes con tipos de vegetación característica de zonas áridas, donde esta cactácea no crece naturalmente, sin embargo, al emplear cuadros de menor tamaño ( $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ) se observó que la distribución del taxón se fragmenta en tres regiones, una en la parte este de Hidalgo y la parte colindante de éste estado con la parte oeste de Veracruz, la segunda se ubica en la parte norte de Puebla y la tercera en la parte central de Veracruz; con este método se obtuvo la menor superficie de distribución del taxón.

El método de la propincuidad media presenta la mayor superficie del área de distribución del taxón, esto es consecuencia de las distancias que separan a los registros, debido a que el promedio de las distancias se usa como radio de las circunferencias; nuevamente, como en el método de cuadrículas, se observan las mismas tres regiones, aunque claro, con mayor superficie; este método resulta

más útil para el caso de especies que no muestren una clara asociación con el paisaje, tal como algunos mamíferos carnívoros (Rapoport y Monjeau, 2003).

## MODELOS PREDICTIVOS

Si bien, los modelos predictivos también pueden sobreestimar o subestimar las distribuciones, los resultados se aproximan más a las condiciones originales en las que las especies fueron colectadas, ya que el uso de las variables ambientales en estos análisis proveen información que no se derivan únicamente de los datos originales de presencia. Estos modelos indican áreas con condiciones ambientales similares a las localidades originales (Pearson *et al.* 2007), así, se pueden obtener nuevas localidades para la especie, o bien, identificar sitios donde se podrían localizar nuevas especies (Raxworthy *et al.* 2003).

Sin embargo, a pesar de la habilidad predictiva de los modelos, éstos deben de interpretarse con cuidado, sería erróneo tomar la predicción como la representación actual de la distribución de la especie (Pearson *et al.*, 2007); en el presente trabajo, las 15 localidades usadas para construir los modelos se encuentran dentro de la predicción a partir del GARP, mientras que para MAXENT sólo 14. Dos registros de herbario obtenidos después de realizar los modelos se usaron para probar los mismos, así, el registro para la localidad de Medio Monte (San Bartolo Tutotepec, Hidalgo) y el de Cascada de la Gloria (Zacapoaxtla, Puebla) se encuentran dentro de la predicción de MAXENT. Además, de las salidas al campo se obtuvieron siete localidades que corroboran los modelos, las

siete coinciden con la predicción de MAXENT, no así GARP, con sólo tres. Por otro lado se recorrió el cerro Ixtlahuaco (Lolotla, Hidalgo) localidad predicha por ambos modelos, en la cual, no se encontró la especie. Cabe señalar que las faldas del cerro son ocupadas en su totalidad para pastoreo, dejando únicamente la parte alta del cerro con vegetación primaria (no se presenta ecotono entre el bosque conservado y el pastizal), siendo posible que la especie no se encuentre por cuestiones biológicas propias de ella, ya que, este tipo de taxones son relativamente escasos y prefieren establecerse en tipos de vegetación secundaria (Bravo-Hollis, 1978).

De los algoritmos utilizados para generar los modelos, el MAXENT tiene una definición matemática concisa, lo que significa que el enfoque y las suposiciones son transparentes, además, el algoritmo es determinístico, por lo que si se usan las mismas capas y los mismos registros para generar modelos siempre se obtendrá el mismo resultado, lo cual ofrece un excelente potencial para obtener información biogeográfica extremadamente útil para especies con pocos registros de localidades (Pearson *et al.*, 2007).

Para ciertas especies, como *Nopalxochia phyllanthoides*, unos cuantos registros de localidades pueden ser suficientes para caracterizar el nicho ecológico, mientras que en otros casos, el mismo número de registros pueden ser insuficientes para representar las condiciones necesarias para que la especie exista (Pearson *et al.*, 2007). La máxima eficacia de los modelos y la cantidad de registros dependerá del área de estudio así como de las especies, de la calidad de

resolución de las capas ambientales, así como de los registros usados en el desarrollo del modelo, además del método o algoritmo empleado (Hernández *et al.*, 2006).

En sentido estricto, la prueba de “jackknife” no es independiente ya que comparte algunos datos en cada ocasión que ésta se realiza, sin embargo, cuando el número de registros es reducido, se espera que cada localidad tenga una gran influencia en el modelo, dando varios resultados de las diferentes localidades empleadas en la construcción del modelo (Pearson *et al.*, 2007). Aunque, si bien ambos modelos empleados muestran similitudes en las áreas predichas, difieren en algunas cuestiones. MAXENT predice un área con mayor amplitud de las condiciones más apropiadas para la especie, mientras que los modelos de GARP aparecen más restringidos a los registros empleados para el análisis, así, la habilidad de MAXENT para predecir localidades excluidas por GARP es considerablemente más alta (Pearson *et al.*, 2007).

Entonces, el empleo de MAXENT reducirá el número de localidades necesarias para realizar modelos útiles de distribución, ampliando así la proporción de especies que pueden ser estudiadas con estas técnicas (Pearson *et al.*, 2007); por ejemplo, de acuerdo a las especies de la familia Cactaceae reconocidas por Guzmán *et al.* (2003) para México y tomando los criterios propuestos por Dávila-Aranda *et al.* (2004) para agrupar especies de acuerdo a su distribución estatal se obtiene que: (1) especies escasamente distribuidas (registradas únicamente para un estado): 214; (2) poco distribuidas (2-4 estados): 313; (3) normalmente

distribuidas (5-9 estados): 100; (4) ampliamente distribuidas (10 o más estados): 32 (Cuadro 8). Lo anterior demuestra en el caso particular de los criterios 1 y 2, que numerosas especies de cactáceas y otras plantas de la flora de México con distribuciones restringidas o poco conocidas pueden ser estudiadas con estos enfoques.

Cuadro 8. Relación del número de estados que albergan diferentes cantidades de especies de la familia Cactaceae en México, a partir de los datos de Guzmán *et al.* (2003).

<b>Número de estados</b>	<b>Número de especies</b>
1	214
2	157
3	104
4	52
5	36
6	27
7	17
8	13
9	7
10	6
11	6
12	6
13	4
14	3
15	3
16	2
18	1
19	1

Desafortunadamente, no hay suficiente información referente a la presencia de especies amenazadas en los sistemas de Áreas Naturales Protegidas y el conocimiento que ha sido desarrollado para las RTP's sigue siendo pobre (Luna *et al.*, 2006). Los modelos generados coinciden con cinco RTP's, de las cuales dos de ellas cuentan con datos de presencia registrada de esta especie, ellas son Cuetzalan y bosques mesófilos de la Sierra Madre Oriental. Las tres restantes pueden servir a manera de referencia para futuros estudios florísticos, así como las cuatro ANP's que también coinciden con los modelos y no se tienen registros para la especie; lo anterior resalta la importancia de los modelos predictivos, pues pueden proveer de información útil para diversos estudios y aplicarlos en las prioridades de conservación (Pearson *et al.*, 2007).

En el caso de las ANP's se podría considerar que hay una protección real de las poblaciones de *Nopalxochia phyllanthoides*, pues son áreas protegidas por leyes federales, pero lamentablemente no hay registros que corroboren su presencia en alguna ANP.

### Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER)

Como ya se mencionó anteriormente, la sumatoria de los criterios independientes A, B y D es de 11, lo cual la coloca dentro de la categoría de amenazada, aunque, de acuerdo a la falta de estudios para el criterio C, se podría proponer al taxón

bajo la categoría de en peligro de extinción dado que, en cualquier estudio posterior referente a este criterio, como mínimo se obtendría 1 punto y, al hacer nuevamente la sumatoria el total resultante sería 12 puntos o más, por lo que entraría automáticamente a la categoría antes mencionada.

Dentro de la categorización de especies mexicanas, es necesaria una constante actualización de los datos referentes a cada una, un claro ejemplo es el taxón bajo estudio, para la ficha de CONABIO sólo presenta como distribución los estados de Puebla y Veracruz, a pesar de haber publicaciones recientes (Alcántara y Luna, 1997; Luna *et al.*, 2004; Ponce-Vargas *et al.*, 2006; Luna *et al.*, 2006; Santa Anna del Conde *et al.*, 2009) que hacen constar de su presencia en Hidalgo.

En las salidas al campo se tuvo la oportunidad de observar algunas poblaciones en su estado silvestre, en el estado de Puebla, la mayor parte de los ejemplares observados se encuentran en lugares prácticamente inaccesibles, ya sea en desfiladeros o en paredes de hasta 100 m de alto, lo que hace suponer que podrían estar en buen estado, pero en otras localidades se observaron poblaciones en algunas canteras, por lo que estas poblaciones no tienen un futuro esperanzador, debido a la rápida extracción de la roca y a los explosivos utilizados para esta actividad. En los estados de Hidalgo y Veracruz, los bosques donde se observaron algunas poblaciones están muy alterados debido a las actividades humanas, tanto de urbanización, como de ganadería y agricultura, cabe señalar que estas plantas son apreciadas como ornamentales y se colocan en árboles de

jardines y macetas, e inclusive cuando éstas se encuentran en floración se colocan en altares, mientras que los frutos son consumidos debido a su agradable sabor.

A manera de sugerencia en cuanto a la colecta de esta especie, es recomendable tomar uno o dos filocladios con flor y/o fruto, sin extraer toda la planta, además si es posible, tomar algunas fotografías que muestren o traten de mostrar la mayor parte de sus estructuras que bien podrían servir para su identificación y en un futuro en vez de herborizar ejemplares, imprimir las fotos, sin demeritar el trabajo del herbario ni lo valioso de la colecta científica, pero en el caso de especies con poco conocimiento de sus poblaciones y el número reducido de individuos sería apropiado tomar esta clase de medidas.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo es una contribución al conocimiento de *Nopalxochia phyllanthoides* tanto de su área distribución como de su estatus de conservación y algunos datos referentes a su biología, la información disponible referente a este taxón es relativamente escasa y repetitiva.

Los métodos empleados para realizar los modelos predictivos fueron elegidos porque son fáciles de usar, se pueden descargar de manera gratuita por Internet, y han sido empleados en diferentes publicaciones, además, no es necesaria tener una cuantificación exacta de los datos de ausencia de los taxones a estudiar para generar dichos modelos (Hernández *et al.*, 2006).

A pesar de haber empleado pocos puntos para generar los modelos, los programas respondieron bien, sobre todo el MAXENT, lo cual demuestra que no es necesario un número determinado de puntos para llevar a cabo análisis de distribución potencial. En realidad los resultados de las predicciones dependerán del taxón bajo estudio, la calidad de información de bases de datos y de las capas ambientales empleadas.

Los resultados obtenidos con los modelos de distribución muestran que el programa MAXENT es mejor que el GARP en cuanto a la precisión predictiva para este taxón en particular, esto hace resaltar la importancia de los datos contenidos

en herbarios y bases de datos similares; conforme se vayan incrementando las bases de datos y su disponibilidad sea mayor, el modelado de la distribución de especies será más preciso y se podrán emplear para planificar áreas de conservación, reintroducción o cultivo de especies, entre otros (Hernández *et al.*, 2006).

A pesar de que las predicciones coincidan con algunas ANP's, aún no se tiene presencia confirmada de este taxón, por lo que investigar esto sería de un gran valor, dado que no se puede asegurar si existen poblaciones protegidas y, en teoría, fuera de peligro.

En cuanto a su presencia en RTP's es de gran importancia ya que se suma a otros taxones de gran valor biológico para conservación, por lo que, en el futuro la suma de estos taxones podría dar como resultado una nueva ANP.

Si bien es cierto que con el cálculo del MER se obtuvo un total de 11 puntos, los necesarios para estar dentro de la categoría de amenazada para la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002), también es cierto que no existen estudios para el criterio C, por lo que la categoría de amenazada debe ser de manera temporal o bien, en caso extremo asignar la categoría de en peligro de extinción, ya que cualquier trabajo enfocado al criterio C, para este taxón, como mínimo arrojaría un punto, el necesario para llegar a 12, y así, entrar a dicha categoría.

Francisco Gerardo Yberri Paredes

De manera general, el deterioro del hábitat es un problema muy grave y no solo a nivel nacional, sino a nivel mundial, por lo que es imperativo reorganizar los criterios para decretar áreas para la protección de la biodiversidad, así como mejorar e implementar la explotación sustentable de los recursos naturales, ya sea de uso común, servicios ambientales o de recreación.

## LITERATURA CITADA

- Alcántara-Ayala, O. y Luna-Vega, I. 1997. Florística y análisis biogeográfico del bosque mesófilo de montaña de Tenango de Doria, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 68 (2): 57-106.
- Anderson, E. F. 2001. *The Cactus Family*. Timber Press Inc. Portland, Oregon, E.U.A.
- Anderson, R. P., Lew D. y Peterson, A. T., 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Arias, S., Guzmán, U., Mandujano, M. C., Soto-Galván, M. y Golubov, J. 2005. Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción. I Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001 (México), La Lista Roja (UICN) y CITES. *Cactáceas y suculentas mexicanas* 50(4): 100-125.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Bauer, R., 2003. A synopsis of the tribe Hylocereeae F. Buxb. *Cactaceae Systematics Initiatives* 17:3-61.
- Braun, E. 2008. *Caos, fractales y cosas raras*. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Bravo-Hollis, H., 1978. *Las Cactáceas de México, vol. I*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Bravo-Hollis, H. y Scheinvar, L. 1995. *El interesante mundo de las cactáceas*. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Britton, N. L. y Rose, J. N. 1923. *The Cactaceae. Descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Vol. IV*.
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), 2006. <http://www.cites.org/esp/index.shtml> .
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2007. <http://www.conanp.gob.mx>
- Contreras-Medina, R. 2006. Los métodos de análisis biogeográfico y su aplicación a la distribución de las gimnospermas en México. *Interciencia* 31(3):176-182.
- Dávila-Aranda, P., Lira, R., Valdés-Reyna, J. 2004. Endemic species of grasses in Mexico: a phytogeographic approach. *Biodiversity and Conservation* 13:1101-1121.
- Díaz-Porras, D. F., 2006. *El nicho ecológico y la abundancia de las especies*. Tesis de maestría, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 111 p.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) 1999. *Arc View GIS ver. 3.2*. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, E.U.A.

- Espinosa, D., Morrone, J., Llorente, J. y Flores, O. 2002. Introducción al Análisis de Patrones en Biogeografía Histórica. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Fernández-García, J., 1975. Acerca de la Teoría de la Información y algunas de sus aplicaciones. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 247p.
- Flores-Martínez, A. y Manzanero-Medina, G.I. 2005. Método de Evaluación de Riesgo de extinción de *Mammillaria huitzilopochtli* D.R. Hunt. Cactáceas y suculentas mexicanas 50(1): 15-26.
- Godown, M.E. y Peterson, A. T. 2000. Preliminary distributional analysis of US endangered bird species. Conservation Biology 9: 1313-1322.
- Gómez-Mendoza, L. y Arriaga, L. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. Conservation Biology 21: 1545-1555.
- Guzmán, U., Arias, S. y Dávila, P. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México, CONABIO. México, D.F.
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. Auk 34:427-433.
- Halffter, G. 2003. Biogeografía de la entomofauna de montaña de México y América Central. pp: 87-97, in Morrone, J. y Llorente, J. (eds). Una perspectiva Latinoamericana de la biogeografía. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Hernández, F. (1651) 1946. Historia de las plantas de Nueva España, tomo III, Imprenta Universitaria, México, D.F.
- Hernández, H. M. y Godínez, H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana 26:33-52.
- Hernández, P.A., Graham, C. H., Master, L. L. y Albert, D. L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. Ecography 29: 773-785.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology 22: 415-457.
- Judd, W. S., C. S. Campbell, E. A. Kellogg, P. F. Stevens y M. J. Donoghue. 2002. Plant Systematics: A phylogenetic approach. 2a ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts, E.U.A.
- Koleff, P. y Moreno, E. 2005. Áreas protegidas de México: Regionalización y representación de la riqueza. pp: 351-373, in Llorente, J., Morrone, J. (eds). Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1988. Diario Oficial de la Federación, México, 28 de enero de 1988.
- Lindenmayer, D.B., Mackey, B.G. y Nix, H.A. 1996. The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from south-eastern Australia. *Australian Forestry* 59:74-89.
- Luna-Vega, I. y Alcántara-Ayala, O. 2004. Florística del bosque mesófilo de montaña de Hidalgo. pp: 169-191, *in* Luna, I., Morrone, J.J. y Espinosa, D. (eds). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Luna-Vega, I., Alcántara-Ayala, O., Contreras-Medina, R., y Ponce-Vargas, A. 2006. Biogeography, current knowledge and conservation of threatened vascular plants characteristic of Mexican temperate forests. *Biodiversity and Conservation* 15:3773-3799.
- MacArthur, R.H. 1972. *Geographical ecology*. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, E.U.A.
- Martínez, M. 1994. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Meyrán, J. 1962. *Nopalxochia phyllanthoides* silvestre. *Cactáceas y suculentas mexicanas*. 3: 72-73
- Nakazawa-Ueji, Y. J. 2003. Modelos predictivos como herramienta para el estudio de cambios estacionarios del nicho de algunas aves migratorias neotropicales. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 59 p.
- Navarro, A. G., Peterson, A. T., Nakazawa U, Y. J. y Liebig-Fossas, I. 2003. Colecciones Biológicas, Modelaje de Nichos Ecológicos y los Estudios de la Biodiversidad. pp: 115-122, *in* Morrone, J. y Llorente, J. (eds). Una perspectiva Latinoamericana de la biogeografía. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Nyffeler, R. 2002. Phylogenetic relationships in the cactus family (CACTACEAE) based on evidence from *TRNK/ MATK* and *TRNL-TRNF* sequences. *American Journal of botany* 89(2): 312-326.
- Ortiz-Bermúdez, E. 2004. Nomenclátor de localidades. pp: 25-62, *in* Luna, I., Morrone, J.J. y Espinosa, D. (eds). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Pearson, R. G. y Dawson, T. P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12:361-371.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. y Peterson, A. T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34 (1): 102-117.

- Peterson, A. T., y Cohoon, K. P. 1999. Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecological Modelling* 117: 159–164.
- Peterson, A. T., Egbert, S.L., Sánchez-Cordero, V. y Price, K.P. 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93: 85-94.
- Peterson, A. T., Ball, L. G. y Cohoon, K. P. 2002. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis* 144: E27-E32.
- Peterson, A. T., Robins, R. 2003. Using Ecological-Niche Modeling to Predict Barred Owl Invasions with Implications for Spotted Owl Conservation. *Conservation Biology* 17:1161-1165.
- Phillips, S.J., Dudík, M. y Schapire, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, Banff, Canadá.
- Phillips, S.J., Anderson, R. P. y Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Ponce-Vargas, A., Luna-Vega, I., Alcántara-Ayala, O. y Ruiz-Jiménez, C.A. 2006. Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77:177-190.
- Rapoport, E. H. 1975. *Areografía. Estrategias geográficas de las especies*. Fondo de Cultura Económica, México D.F., 214 p.
- Rapoport, E. H., Monjeau, J. A., 2003. *Areografía*. pp: 23-30, in Morrone, J. y Llorente, J. (eds). *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, Conceptos, Métodos y Aplicaciones*. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Raxworthy, C.J., Martínez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R.A., Schneider, G.E., Ortega-Huerta, M.A. y Peterson, A.T. 2003. Predicting Distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426: 837-841.
- Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14:3-21.
- Sánchez-Martínez, E., Chávez-Martínez, R., Hernández-Oria, J. y Hernández-Martínez, M. 2006. Especies de *Cactaceae* prioritarias para la conservación en la zona árida Queretano Hidalguense. Manual de Proyecto. Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío". Querétaro, México.
- Sánchez-Cordero, V., Townsend Peterson, A. y Escalante-Pliego, P. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. pp: 359-379, in Hernández, H.M.; García Aldrete, A.N.; Álvarez, F. y Ulloa, M. (comps.). *Enfoques*

contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Santa Anna del Conde, H., Contreras-Medina, R. y Luna-Vega, I. 2009. Biogeographic analysis of endemic cacti of the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Biological Journal of the Linnean Society* 97:373-389.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México y 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*, México, 6 de marzo, pp. 1-80.

Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27: 379–423, 623–656 (apèndice).

Sheinvar, L. 2004. Flora cactológica del estado de Querétaro: diversidad y riqueza. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

Smith, R.L. y Smith, T.M. 2002. *Ecología*. Addison Wesley, 4ª edición, México, D.F. 642p.

Soberón, J. y Peterson, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.

Solano, E. y Feria, P. 2007. Ecological Niche modeling and geographic distribution of the genus *Polygonum* L. (Asteraceae) in Mexico: using niche modeling to improve assessments of risk status. *Biodivers Conserv* 16: 1885-1900.

Stockwell, D. R. B. y Noble, I. R. 1992. Induction of sets of rules for animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 33: 385-390.

Téllez-Valdés, O. y Dávila-Aranda, P. 2003. Protected Areas and Climate Change: a Case Study of the Cactus in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology* 17 (3): 846-853.

Téllez-Valdés, O., Dávila-Aranda, P. y Lira-Saade, R. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandifolia* var. *mexicana*, an important species of the cloud forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1095-1107.

Villaseñor, J.L. y Téllez-Valdés, O. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 75(2): 205-220.

Wiley, E.O., McNyset, K.M., Peterson, A. T., Robins, R. y Stewart, A.M. 2003. Niche modeling and geographic range predictions in the marine environment using a machine-learning algorithm.

Zunino, M. y Zullini, A. 2003. *Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.