



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Comparación de métodos para calcular el tamaño del área de distribución en especies de cactáceas del Desierto Chihuahuense”

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

TUTOR: Dr. Héctor Manuel Hernández Macías

2006





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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: "Comparación de métodos para calcular el tamaño del área de distribución en especies de cactáceas del Desierto Chihuahuense"

realizado por Mariel Navarro Vázquez

con número de cuenta 401052815 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Dr. Héctor Manuel Hernández Macías

J. Aguilar González D.

Propietario

Dra. Tania Escalante Espinosa

T. Escalante Espinosa

Propietario

Dr. Carlos Martorell Delgado

C. Martorell Delgado

Suplente

Dr. Enrique Martínez Meyer

E. Martínez Meyer

Suplente

Dr. Luis Zambrano González

L. Zambrano González

Consejo Departamental de Biología
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS
SECRETARÍA DE ENSEÑANZA
SUPERIOR DE BIOLÓGICA

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Héctor Hernández por darme la oportunidad de realizar este estudio bajo su tutela, y quien además me brindó durante la elaboración todo su apoyo y enseñanza.

A los biólogos Carlos Gómez y Gibrán Hoffman por su disposición para ayudarme y por su colaboración en diversos aspectos del trabajo.

A mis sinodales Dra. Tania Escalante, Dr. Carlos Martorell, Dr. Enrique Martínez y Dr. Luis Zambrano por sus valiosos comentarios y puntos de vista.

A Giuseppe por su motivación que fue fundamental para concluir este trabajo.

Al Dr. Raúl Puente y el Dr. Rolando Bárcenas quienes amablemente proporcionaron datos complementarios para realizar los análisis.

Quiero agradecer también a todos mis maestros y compañeros de la carrera con quienes compartí las experiencias que me permiten llegar hoy a este punto de mi vida.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
I. Conservación de la biodiversidad	3
II. Listas rojas	5
i. Unión Mundial para la Naturaleza (UICN)	
ii. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001(2002).	
III. Métodos para el cálculo del tamaño de la distribución	8
IV. La familia Cactaceae	11
V. Objetivos	13
MÉTODOS	14
I. Área de estudio	14
II. Especies estudiadas	17
III. Fuentes de información	19
IV. Método areográfico	21
V. Método cartográfico	23
VI. Método cartográfico por conglomerados	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
REFERENCIAS	49
Apéndice	53

RESUMEN

A partir de registros puntuales georreferidos obtenidos de la Base de Datos de Cactáceas del Norte y Centroamérica, se calculó por tres diferentes métodos el tamaño del área de distribución de diez especies de cactáceas pertenecientes a la subfamilia Opuntioideae que se distribuyen en la Región del Desierto Chihuahuense. Los métodos que se utilizaron fueron: el areográfico, el *cartográfico* y un tercer método inédito que se propone en este trabajo, el cual llamamos método cartográfico por conglomerados. Los tamaños de las áreas de distribución que se obtuvieron indican que el método areográfico funciona para especies con áreas de distribución amplias, mientras el cartográfico para especies con áreas de distribución restringidas, aunque en términos generales estos dos métodos sobreestiman las áreas. Finalmente, el tercero dio mejores estimaciones para los dos tipos de especies.

INTRODUCCIÓN

El contexto en el que se realizó este trabajo consta de un elemento central que tiene su origen en los acuerdos alcanzados en el 2002, durante la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB) misma que estableció, en la Sexta Conferencia de las Partes, la Estrategia Global para la Conservación de las Plantas (EGPC), que incluye 16 objetivos a cumplirse antes del 2010 y cuyo eje principal es evitar la continua pérdida de la biodiversidad de plantas. De los objetivos de dicha estrategia dos fueron retomados en este estudio:

El objetivo 2: “Evaluación preliminar del estado de conservación de todas las especies de plantas conocidas a nivel nacional, regional e internacional”.

El objetivo 7: “Conservación *in situ* del 60% de las especies amenazadas del mundo” (GSPC, 2002).

Derivado de la adopción en México de la estrategia de la CDB y de la necesidad de acciones rápidas y eficientes para la conservación de plantas en riesgo, ha sido incentivada la realización de evaluaciones que, con base en la información que se tenga disponible; permita cumplir los objetivos asumidos, dentro de los tiempos acordados (antes del 2010). Cabe resaltar que, en el caso de las plantas en particular, la mayor fuente de información para hacer evaluaciones son los datos que se obtienen de los herbarios, principalmente información relativa a la ubicación geográfica de los ejemplares muestreados

Por lo tanto, el presente trabajo se enfoca específicamente a la comparación de tres métodos usados para el cálculo de las áreas de distribución pretendiendo evidenciar sus bondades y limitaciones, colaborando así, por medio del análisis de la información disponible, al cumplimiento de los objetivos 2 y 7 de la EGCP, evidenciando los argumentos metodológicos que deberán tomarse en cuenta durante la evaluación de las áreas de distribución. Cabe destacar que el tamaño de las áreas de distribución de las especies es un parámetro fundamental para evaluar su estado de conservación, lo cual, a su vez, es esencial para diseñar estrategias para su conservación *in situ*.

I. Conservación de la biodiversidad

La biodiversidad es la variedad de formas de vida que existen en el planeta. Se puede acotar en varios niveles, desde la diversidad genética hasta los tipos de ecosistemas y hábitats, donde encontramos ensambles de especies complejos que proporcionan a los seres humanos una gran cantidad de beneficios, desde servicios ambientales, económicos, culturales y estéticos; además de ser el resultado de procesos y eventos evolutivos que se ha dado a largo de millones de años (Meffe y Carrol, 1997).

El hombre se desenvuelve e incide en la naturaleza a tal grado que ha generado una extraordinaria pérdida de recursos. Esto ha dado como resultado que actualmente la humanidad se enfrente a una crisis ambiental que merma la biodiversidad de una manera alarmante. La pérdida de las comunidades y las especies biológicas no sólo es lamentable por el valor intrínseco de cada forma de vida, sino también por sus consecuencias para la supervivencia de las demás especies, incluidos los seres humanos (Primack, 2002). Las principales causas de la pérdida de biodiversidad son: la pérdida o destrucción de hábitats prístinos; la fragmentación de los hábitats; la alteración de los ecosistemas por introducción o pérdida de algún elemento y la sobreexplotación de los recursos (Spellberg, 1992).

Recientemente se ha tomado conciencia de este problema y como una respuesta de la comunidad científica a la crisis de la biodiversidad se ha desarrollado ampliamente una rama de la biología que se dedica a la conservación. La conservación tiene como objetivo principal evitar la extinción y está cargada de un fuerte componente socioeconómico, encarando así una problemática compleja, poniendo en contacto a la ciencia con el mundo real y buscando respuestas aplicables a situaciones específicas. La bioconservación se refiere a todas aquellas decisiones que aseguren y protejan la existencia de genes, especies, hábitats y ecosistemas para las generaciones futuras (Bojórquez y Villela, 1991). Existen diferentes alternativas de bioconservación, las cuales están diseñadas para preservar los distintos niveles dentro de la jerarquía

biológica; estas alternativas se engloban en dos tipos de conservación, una es *in situ* y la otra es *ex situ*.

La conservación *in situ* es considerada la mejor alternativa, porque no se restringe a proteger una especie aislada sino ecosistemas o hábitat, así como las complejas tramas de interacciones ecológicas y evolutivas que sostienen, preservando así las propiedades más importantes de la biodiversidad.

Las especies biológicas existen dentro de un flujo dinámico de procesos ecológicos y evolutivos, por lo que la preservación de especies en cautiverio conocida como conservación *ex situ* (zoológicos, acuarios, jardines botánicos, etc.) no es suficiente para mantener tales procesos naturales. El fin de la conservación biológica no es congelar el cambio evolutivo en una colección estática de especies, sino permitir que las poblaciones mantengan sus procesos de cambio en la composición genética y que las especies puedan continuar su devenir evolutivo (Feinsinger, 2001). Aunque se reconoce que si una población remanente es demasiado pequeña para mantener la especie o si los pocos individuos sobrevivientes se encuentran fuera de las áreas protegidas, es probable que la única forma de evitar la extinción sea mantener un número de individuos temporalmente en condiciones artificiales bajo la supervisión humana (Kleiman *et al.*, 1996).

Un paso crítico para la conservación de las comunidades biológicas es el establecimiento de áreas protegidas legalmente, gobernadas por leyes y reglamentos que permitan diferentes grados de uso. Es necesario generar un compromiso político y recursos financieros suficientes para asegurar que una vez establecidas las áreas protegidas alcancen un buen funcionamiento (Primack, 2002). Existen muchas clases de áreas protegidas que cumplen el papel de conservar la biodiversidad del mundo. Actualmente cubren 9.5% de la superficie terrestre; aun así, hay biomas que están pobremente representados, de manera que la cobertura mundial de áreas protegidas contiene aún huecos importantes (IUCN/ World Commission on Protected Areas, 2000).

II. Listas Rojas

Las listas rojas también son consideradas como esfuerzos para conservar la biodiversidad debido a que contienen listas de especies en alguna categoría de riesgo que proporcionan información sobre su estado de conservación. Por tanto, éstas son un marco adecuado para establecer estrategias de conservación. Las organizaciones que se dedican a conformar listas rojas también tienen como tarea hacer esquemas para definir y categorizar el grado de riesgo que enfrentan las especies. Tal es el caso de:

i. Unión Mundial para la Naturaleza (UICN)

Es una organización que, entre otras actividades, se dedica a determinar el estado de conservación de las especies en todo el mundo, elaborando listas rojas de las especies. También le corresponde señalar y estandarizar las categorías y criterios para su evaluación. Las categorías según la UICN (IUCN/ Species Survival Commission, 2001), son: Extinto (EX), Extinto en Estado Silvestre (EW), en Peligro Crítico (CR), en Peligro (EN), Vulnerable (VU), Casi Amenazado (NT), Preocupación Menor (LC), Datos Insuficientes (DD) y No Evaluado (NE) (Figura 1).

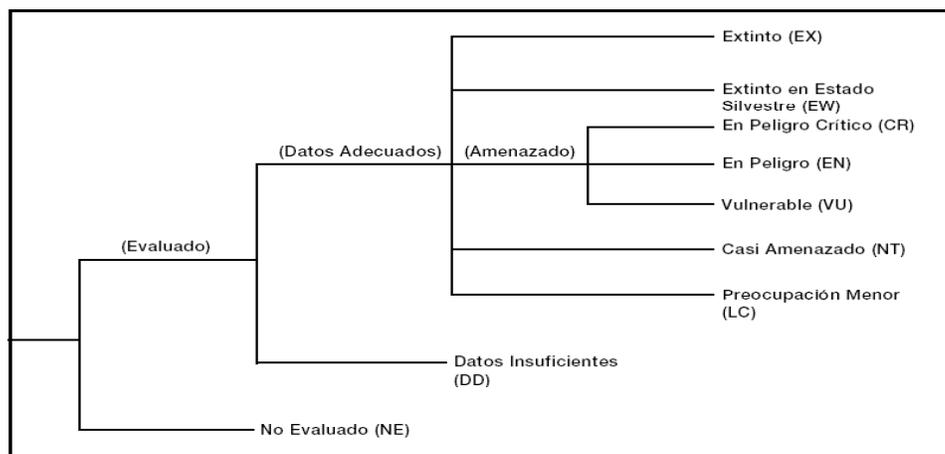


Figura 1. Estructura de Categorías de la UICN. Tomado de la UICN (2001).

Las características y parámetros de cada una de las categorías son los siguientes:

- **Extinto (EX).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando de acuerdo a prospecciones adecuadas no existe duda de que el último individuo existente ha muerto.
- **Extinto en Estado Silvestre (por sus siglas en inglés EW).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando de acuerdo a prospecciones adecuadas sólo se encuentra en cultivo o cautiverio fuera de su distribución original.

Las siguientes tres categorías (**en Peligro Crítico**, **en Peligro** y **Vulnerable**), están dentro del grupo considerado como Amenazado. Los taxones se categorizan en éstas cuando cumplen cualquiera de los criterios del A al E que se encuentran descritos en el **Apéndice**.

- **En Peligro Crítico (por sus siglas en inglés CR).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando la mejor evidencia disponible indica que alcanza cualquiera de los criterios A al E para la categoría en Peligro Crítico (**Apéndice**) y por lo tanto se considera que enfrenta un riesgo extremadamente alto de extinguirse en la naturaleza.
- **En Peligro (por sus siglas en inglés EN).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando la mejor evidencia disponible indica que alcanza cualquiera de los criterios A al E para la categoría en Peligro (**Apéndice**) y por lo tanto se considera que enfrenta un riesgo muy alto de extinguirse en la naturaleza.
- **Vulnerable (VU).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando la mejor evidencia disponible indica que alcanza cualquiera de los criterios A al E para la categoría Vulnerable (**Apéndice**) y por lo tanto se considera que enfrenta un riesgo alto de extinguirse en la naturaleza.

- **Casi amenazado (por sus siglas en inglés NT).** Un taxón está dentro de esta categoría cuando no cumple con ningún criterio que defina las categorías de Amenaza pero posiblemente los satisfaga en un futuro cercano.
- **Preocupación menor (por sus siglas en inglés LC).** Un taxón está dentro de esta categoría cuando es de distribución amplia.
- **Datos Insuficientes (por sus siglas en inglés DD).** Un taxón está dentro de esta categoría cuando no hay datos suficientes sobre su distribución y/o abundancia y por lo tanto la información no es adecuada para realizar una evaluación.

i.i. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001(2002).

En el caso específico de México, la SEMARNAT en colaboración con otras organizaciones, es la institución que entre sus atribuciones realiza listas rojas para nuestro país, creando de esta manera la Norma Oficial Mexicana (2002) que brinda protección a las especies nativas de México de flora y fauna silvestre. Las categorías de riesgo según la Norma son:

- En peligro de extinción (P)
- Amenazada (A)
- Sujeta a Protección Especial (Pr)
- Probablemente extinta en el medio silvestre (E)

El Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) incluye cuatro criterios independientes para tomar decisiones sobre categorías de riesgo :

- 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.

Cualquier institución o persona interesada puede proponer la inclusión o exclusión de una especie a cualquier categoría realizando un MER apelando al estado actual de la especie o población; su importancia ecológica, taxonómica, cultural y/o económica; y a los factores de riesgo reales y potenciales que la coloquen en peligro.

Las categorías y criterios para la NOM-59-SEMARNAT-2001 difieren sustancialmente de las de la UICN. La diferencia más importante reside en que los criterios de la Norma son cualitativos mientras los de la UICN son cuantitativos, es por eso que la lista roja elaborada por la SEMARNAT está basada principalmente en la opinión colegiada de especialistas en distintos grupos de organismos.

III. Métodos para el cálculo del tamaño del área de distribución

En los estudios recientes sobre vulnerabilidad y riesgo de extinción de las especies, el tamaño del área de distribución es el criterio más importante y común denominador de todos ellos ya que muchas veces es difícil obtener información sobre la abundancia, densidad o dinámica de una población. Además, las colecciones biológicas son las fuentes de información más abundantes y accesibles que existen, contando éstas sobre todo con información geográfica primaria.

La idea de que cada especie tiene un área geográfica única es central en la biogeografía. El área de distribución se considera aquella fracción de espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema (Zunino y Zullini, 2003). Desde hace décadas los científicos comenzaron a tomar mayor interés por estimar esta área. Sin embargo, los intentos por representarla siempre tienden a ser imperfectos, debido a la imposibilidad de proyectar sobre un mapa una realidad que se presenta en una superficie convexa y en tres dimensiones (Zunino y Zullini, 2003).

A principios de la década de los años 70's, el biogeógrafo argentino Eduardo Rapoport acuñó el término areografía para referirse a los análisis

modernos de la distribución de plantas y animales (Rapoport, 1975). El libro de Rapoport inspiró a ecólogos y biogeógrafos a realizar estudios conceptual y metodológicamente similares (Brown y Lomolino, 1998).

Pueden utilizarse diferentes análisis, criterios y métodos para delimitar el área geográfica de una especie, por lo que cada autor puede generar diferentes mapas basados en los mismos datos. Para que el ejercicio de contrastación sea posible, la metodología debe ser repetible e idéntica.

Existen varios métodos para determinar el tamaño de la distribución de una especie, para todos ellos el biogeógrafo acumula un número de datos dado y los transforma de manera gráfica en puntos sobre un mapa. Algunos de estos métodos son los siguientes:

- Círculo mínimo – Se traza el círculo más pequeño posible que englobe a todos los puntos. Existen dos variaciones a este método, el método de Calhoun y Casby y el método del radio medio entre puntos a partir del centro geométrico (Zunino y Zullini, 2003).
- Polígono convexo mínimo – Este método consiste en trazar líneas rectas entre los puntos que se encuentren al exterior de la nube, creando un polígono convexo irregular y englobando el resto de los puntos (Fig. 2b). La UICN (2001) sugiere que por este método se calcule el criterio B1 (**Apéndice**) llamado extensión de la presencia (EO por sus siglas en inglés) que es el área continua mínima que incluye todos los lugares conocidos donde un taxón está presente. Esta medida incluye discontinuidades y disyunciones.

Estos primeros métodos no admiten la existencia de penínsulas, ni de poblaciones disyuntas y su rigidez aleja el resultado de la realidad (Rapoport y Monjeau, 2001). Aunque tienen un valor histórico porque fueron los primeros intentos por trazar áreas de distribución, actualmente se consideran obsoletos (Zunino y Zullini, 2003). Otros métodos son:

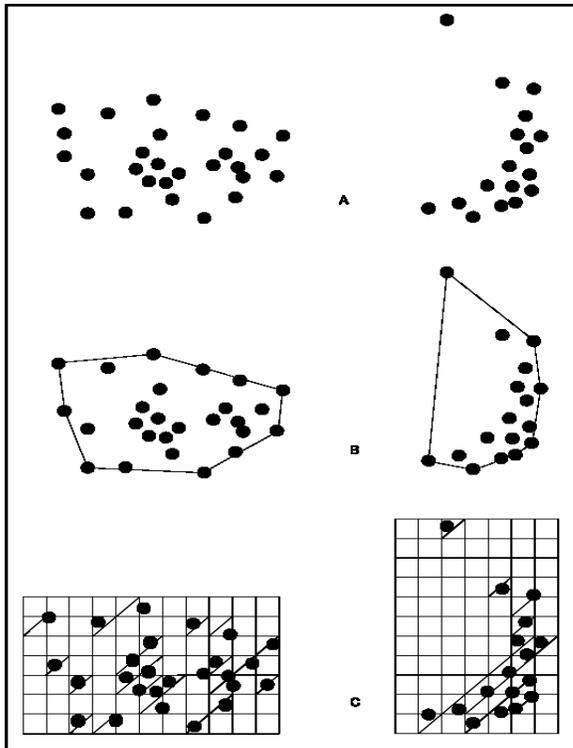


Figura 2. Dos ejemplos de la diferencia entre extensión de la presencia y área de ocupación.

(a) Nubes de puntos gráficos, representando localidades.

(b) Delimitación de la extensión de la presencia con el método de polígono convexo.

(c) Medida del área de ocupación, que es la suma obtenida de los cuadros ocupados.

Tomado de UICN (2001).

- Ajuste a ojo – Este método es el más subjetivo, reconstruye las fronteras del área englobando todos los puntos gráficos, esto depende del criterio de cada observador (Zunino y Zullini, 2003).
- Retículo cuadrangular con distintos tamaños de malla o método cartográfico – Consiste en colocar una malla encima del mapa (Fig. 2c), el tamaño de la cuadrícula puede variar y es arbitrario, por lo tanto el tamaño del área geográfica variará de acuerdo con las dimensiones elegidas (por lo general se utilizan cuadros cuyos lados miden 10 km). Solamente se toman en cuenta los cuadros en los que un punto o más estén dentro (Rapoport y Monjeau, 2001). La UICN propone utilizar este método para calcular el criterio B2 (**Apéndice**) o área de ocupación (AOO por sus siglas en inglés) que es el área dentro de la “extensión de presencia” que ocupa un taxón, excluye discontinuidades y disyunciones (Figura 2c). En algunos casos es el área más pequeña esencial para la supervivencia de un taxón. Una de las grandes limitaciones de este método es que los resultados que genera dependen del tamaño de cuadro utilizado. Mientras más fino sea el tamaño, menor será el área

calculada y será más probable que el taxón quede dentro de los límites de las categorías de amenaza. Por otro lado, si se utiliza un tamaño de malla grueso la distribución se incrementa, excediendo así los límites del criterio B2 de la UICN y quedando fuera de las categorías de amenaza. El tamaño de la escala puede variar significativamente y es una fuente de inconsistencia y sesgo. Aunque la UICN identifica el problema, no propone solución alguna. Sin embargo, recientemente Willis, *et al.* (2003) propusieron un método que estandariza el tamaño de la cuadrícula para todos los taxones. Éste se explicará más adelante en los métodos.

- Método de la propinquidad media o método areográfico - Este método está basado en el concepto de distancia al vecino más cercano y en la teoría de grafos. El primer paso es trazar un árbol de distancias mínimas entre todos los puntos. Se miden las distancias entre cada punto y se calcula la media aritmética; mediante un compás se traza un círculo cuyo radio equivale a la media aritmética alrededor de cada punto (Rapoport, 1975). Los nodos, o subconjuntos de nodos, distanciados a más de 2 medias quedan automáticamente segregados y constituyen áreas aisladas o disyuntas (Rapoport y Monjeau, 2001).

Todos los métodos mencionados pueden ser aplicados a diversos grupos de organismos como plantas y animales para obtener una aproximación a su área de distribución. Para efectos de la comparación realizada en este trabajo se aplicaron a algunas especies de cactáceas.

IV. La familia Cactaceae

Las cactáceas se distribuyen únicamente a lo largo del continente americano desde el sur de Canadá hasta la Patagonia, con excepción de la epífita *Rhipsalis baccifera* que se distribuye en África tropical, Madagascar, en islas del océano Índico y en Sri Lanka. Las cactáceas pueden ser encontradas en diversos tipos de

hábitats, desde desiertos muy secos hasta exuberantes selvas tropicales. La familia comprende cerca de 100 géneros y 1500 especies (Hunt, 1999), dentro de la cual existen una gran variedad de formas (globosas, arborescentes, columnares y epifitas). México es el centro de diversidad de cactáceas más importante del mundo; comprende cerca de 55 géneros y 570 especies, de los cuales el 73% de los géneros y el 78% de las especies son endémicos (Hernández y Godínez, 1994).

Las cactáceas se caracterizan por sus adaptaciones a medios secos debido a que la mayoría de ellas ocurren en regiones donde la disponibilidad de agua está limitada la mayor parte del año. Algunas de esas adaptaciones son sus tallos suculentos que están especializados para almacenar agua, sus raíces capacitadas para absorber agua en la capa superior del suelo (Anderson, 2001) y su metabolismo CAM que reduce la evapotranspiración al sólo abrir los estomas por la noche para realizar el intercambio gaseoso. Gracias a estos atributos, las cactáceas alcanzan su máxima diversidad en las zonas áridas de México, como el Desierto Chihuahuense, que abarca desde los estados de Texas, Nuevo México y Arizona en E.E. U.U. hasta algunas áreas de Querétaro e Hidalgo en México; el Desierto Sonorense, que comprende la mayor parte de la península de Baja California, partes de Arizona y la planicie costera de Sonora; y la zona árida de Tehuacán-Cuicatlán en Puebla y Oaxaca (Bravo, 1995).

Las Cactáceas son una de las familias más amenazadas de todo el reino Plantae. El factor más importante que afecta la conservación de estas plantas es la destrucción de su hábitat natural, como consecuencia del desarrollo agrícola, forrajeo, expansión urbana, construcción de caminos y minería. Esto, aunado a sus bajas tasas de reproducción y sus lentas tasas de crecimiento, las coloca en una situación extremadamente vulnerable. Además, un número significativo de especies que son muy raras y que son deseables desde el punto de vista ornamental han sido muy afectadas por las actividades de colecta ilegal ligadas al comercio internacional (Robbins y Bárcenas, 2003).

La Lista Roja de la UICN (IUCN, 2004) incluye evaluaciones del estado de conservación de 137 especies de cactáceas, de las cuales 65 son endémicas de

México y 58 de éstas están dentro de alguna categoría de amenaza. Por otro lado, en cuanto a legislación nacional; la NOM-059-SEMARNAT-2001 (2002) enlista aproximadamente a 300 especies de cactáceas, de las cuales más de la mitad están sujetas a protección especial que es la categoría de menor riesgo.

Además, de acuerdo a la CITES (2002), toda la familia se enlista dentro del Apéndice II. Esto quiere decir que el tráfico internacional debe estar regulado estrictamente. Y seis géneros y 30 especies se incluyen en el Apéndice I donde se encuentran las especies que no pueden ser exportadas.

V.Objetivos

Objetivo general

- Comparar tres métodos para calcular el tamaño del área de distribución de diez especies de cactáceas del Desierto Chihuahuense.

Objetivos particulares

-Determinar el tamaño del área de distribución de cada una de las especies utilizando los métodos cartográfico, areográfico y cartográfico por conglomerados.

-Analizar los métodos utilizados para determinar las áreas de distribución e identificar el que exhibe las mejores estimaciones.

- Evaluar el estado de conservación de las especies estudiadas y categorizarlas utilizando los resultados de tamaño de área obtenidos con el método más adecuado y toda la información disponible que exista, de acuerdo a los criterios de riesgo de la UICN.

-Comparar los resultados obtenidos con las categorías propuestas en la Lista Roja de la UICN.

MÉTODOS

I. Área de Estudio

El Desierto Chihuahuense es la región desértica más grande de América del Norte; ocupa un tercio de la zonas áridas (35.7%) de todo el continente (Schimdt,1986), y se ubica sobre el Trópico de Cáncer. Se localiza entre los paralelos 21° y 35° N y los meridianos 101° y 109.15 W; y tiene una extensión de 507,000 km² (Henrickson & Straw, 1976) aproximadamente. El clima es de árido a semiárido con régimen de lluvias predominantemente de verano a lo largo de todo el desierto (entre el 69% al 90% de la lluvia cae durante los meses más calientes de mayo a octubre); (Henrickson y Johnston, 1986) y oscilación térmica extremosa (García, 1964).

Dentro de su delimitación, el Desierto Chihuahuense engloba áreas que no son desérticas, particularmente grandes elevaciones montañosas (Shreve, 1942; Morafka, 1977; Medellín-Leal, 1982). Esto da como resultado un gradiente climático y ecotonal dentro del desierto que muchos investigadores consideran bajo una sola unidad eco-geográfica llamada Región del Desierto Chihuahuense. Existen diferencias entre las delimitaciones que dan múltiples autores a esta región (Shreve, 1942; Henrickson & Straw, 1976; Morafka, 1977; Schmidt,1979; Medellín-Leal,1982). La más reciente regionalización propone su división en tres subregiones (Figura 3) con base en los patrones de distribución de especies de cactáceas endémicas (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005):

1. La subregión Principal es básicamente la que propone Henrickson y Straw (1976). Es el área más grande y comprende parte de los estados de Arizona, Nuevo México y Texas en los Estados Unidos y de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas, en la República Mexicana.
2. La subregión Meridional se localiza al sur de la anterior y engloba las zonas áridas disyuntas de Guanajuato, Hidalgo y Querétaro.

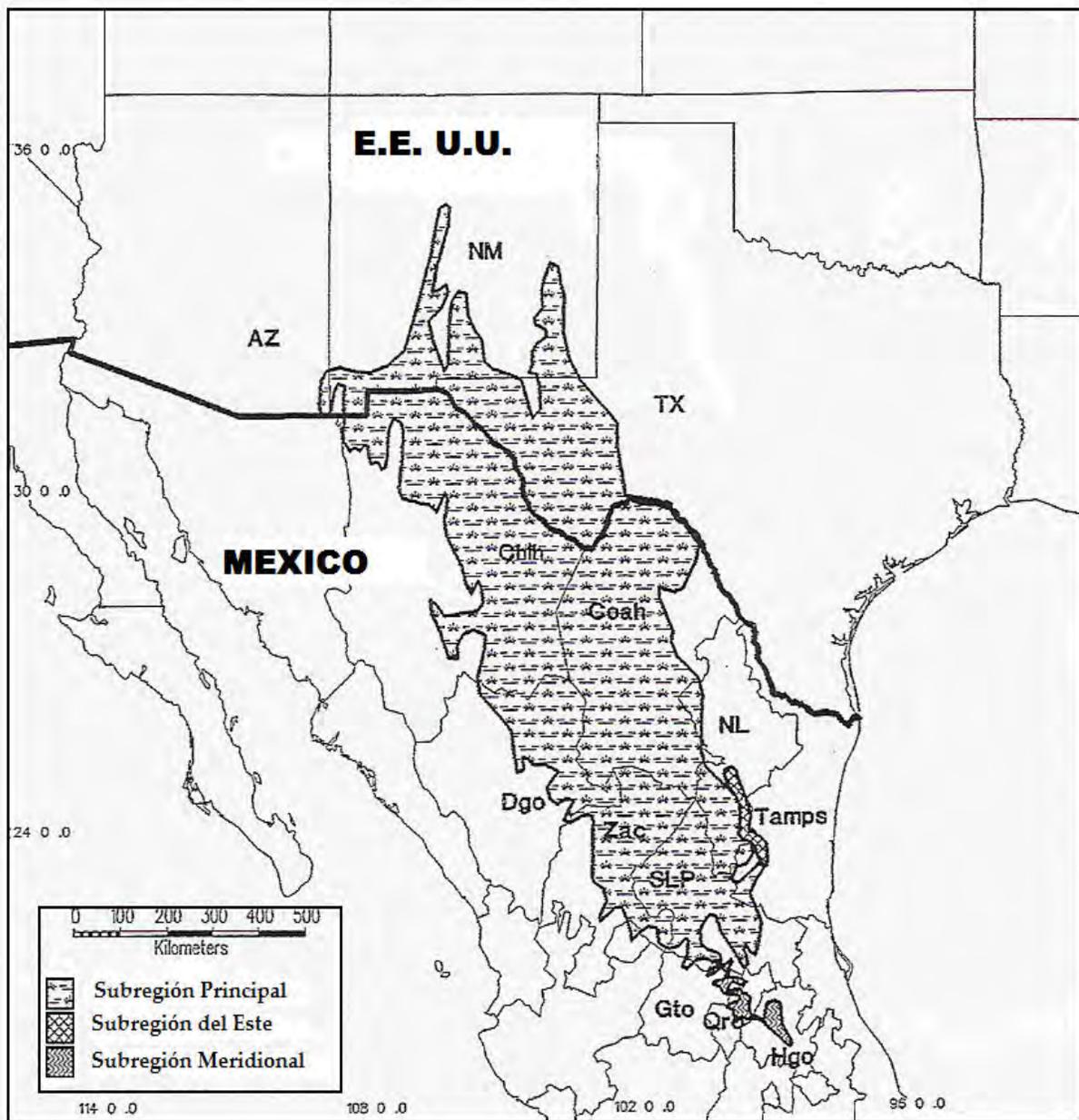


Figura 3. Subregiones en que se divide la Región del Desierto Chihuahuense de acuerdo con Hernández y Gómez-Hinostrosa (2005). AZ, Arizona; NX, Nuevo México; TX, Texas; Chih, Chihuahua; Coah, Coahuila, NL, Nuevo León; Tamps, Tamaulipas; Dgo, Durango; Zac, Zacatecas; SLP, San Luis Potosí; Gto, Guanajuato, Qro, Querétaro; Hgo, Hidalgo.

3. La subregión del Este se refiere a los valles y depresiones en la Sierra Madre Oriental, localizados en Nuevo León y Tamaulipas.

Según Morafka (1977), la parte que se encuentra dentro de la República Mexicana corresponde al 80% (429,400 km²) del Desierto Chihuahuense y éste

representa el 20% de todo el territorio nacional. Está limitado al este y al oeste por dos barreras significativas paralelas a las líneas de costa, las Sierras Madres Occidental y Oriental, que detienen las corrientes húmedas del Océano Pacífico, Golfo de México y de California y que lo convierten en un desierto de “sombra orográfica” (Schmidt, 1986). Conformado en su mayoría por planicies aluviales con una altitud promedio de 1400 m (Medellín-Leal, 1982), el 90% del Desierto se sitúa entre 1100 y 1500 msnm. De estas llanuras emergen altas cadenas montañosas rodeadas de extensos valles, dando origen a “islas montañosas y mares desérticos” (Gehlbach, 1993).

El clima se caracteriza por presentar veranos calurosos, inviernos fríos asociados a periodos de heladas y ocasionalmente nevadas durante los meses de invierno. Esto último sólo ocurre en la parte norte del Desierto Chihuahuense donde las temperaturas promedio anuales son de 3 a 4° C más bajas que en el sur (Schmidt, 1986). Hay una fuerte relación entre la temperatura máxima y el comienzo de la temporada de lluvias (Mosiño y García, 1974).

La precipitación en general sigue un gradiente que disminuye de forma centrípeta. En los márgenes del Desierto Chihuahuense algunos lugares tienen una precipitación anual de 550 mm, mientras a la parte central del desierto (p. ej., Bolsón de Mapimí y Cuatro Ciénegas) la precipitación anual está por debajo de 200 mm, esta zona es la más árida del Desierto Chihuahuense (Medellín-Leal, 1982). También existe un gradiente de precipitación altitudinal, mientras aumenta la elevación se incrementa la precipitación, en los bolsones se registran promedios de precipitación de entre 156-340 mm.

II. Especies estudiadas

Las especies elegidas para este trabajo pertenecen a los géneros *Opuntia*, *Cylindropuntia* y *Grusonia*, todos pertenecientes a la subfamilia *Opuntioideae*. En particular, estas especies fueron seleccionadas porque presentan diversos tamaños de áreas de distribución, desde áreas geográficas muy amplias hasta sumamente restringidas, además de ser especies que están muy bien definidas taxonómicamente. Se enlistan a continuación :

- ***Cylindropuntia anteojoensis*** Pinkava: solamente se le encuentra en el estado de Coahuila. Su nombre se refiere a la localidad tipo, El Anteojo, pero también se ha colectado en otros tres valles contiguos al oeste y al sur (Pinkava, 1976) . Se localiza en matorral desértico inerte con suelo calcáreo aluvial yesoso. Según criterios de la NOM-059-SEMARNAT-2001 (2002) se encuentra Sujeta a Protección Especial (Pr).
- ***Cylindropuntia kleiniae*** De Candolle: se distribuye ampliamente en todo el Desierto Chihuahuense; se extiende desde el sur de Arizona y Texas, E.E. U.U., hasta la altiplanicie mexicana, en los estados de Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas y Puebla. Crece tanto en matorrales inertes en que abunda *Larrea tridentata*, como en los matorrales espinosos, en suelos calizos (Bravo, 1978).
- ***Grusonia bradtiana*** (Coulter) Britton y Rose: se localiza únicamente en el estado de Coahuila y una parte de Durango aledaña a este estado. Las poblaciones de esta especie son muy densas.
- ***Grusonia grahamii*** Engelmann : se encuentra al oeste de Texas en EE. UU. y en México en los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas y en regiones adyacentes de Chihuahua.

- ***Opuntia chaffeyi*** Britton y Rose: es endémica de Zacatecas. De esta especie sólo se conocen tres localidades muy disjuntas entre sí, crece en lechos de lagos desecados con suelo limoso y escasa vegetación, en su mayoría *Prosopis* y *Larrea* (Hernández H., com. pers.). Tiene una distribución muy restringida y bajas densidades por lo que fue ubicada por la UICN en la categoría de críticamente amenazada (CR) (IUCN, 2004).
- ***Opuntia megarrhiza*** Rose: es endémica de San Luis Potosí. Se encuentran en áreas perturbadas de pastizal con *Bouteloua gracilis* o *Heteropogon contortus* y chaparral con *Quercus striatula* o *Q. edwordii* con *Agave asperrima*, y crece en suelos profundos, arcillosos y oscuros con afloramientos de piedra caliza, en un intervalo de 1890- 2200 m de altitud (Hernández *et al.*, 2001b). El hecho de que *O. megarrhiza* esté relativamente restringida y su población éste fragmentada justifica su inclusión en la lista roja de la UICN (IUCN, 2004) dentro de la categoría vulnerable (VU).
- ***Opuntia pachyrrhiza*** H. M. Hernández, C. Gómez-Hinostrosa y R. Bárcenas : se localiza al norte de San Luis Potosí, en Tamaulipas y Querétaro (Hernández *et al.*, 2001a). Se encuentra en áreas perturbadas de pastizal y chaparral con *Quercus striatula* y *Agave asperrima* y crece en suelos profundos, arcillosos y oscuros con afloramientos de piedra caliza en un rango de 1635-2195 m de altitud. Solamente se conocen nueve localidades, por lo que ha sido incluida como vulnerable (VU) en la lista roja de la UICN (IUCN, 2004).
- ***Opuntia rufida*** Engelman: se localiza en Texas y en los estados de Coahuila, Chihuahua, Zacatecas, Durango (Bravo, 1978) y crece asociada a *Larrea* y *Agave lechuguilla* o *Dasyllirion* y *Agave sp.*

- ***Opuntia stenopetala*** Engelm.: se distribuye ampliamente en el Desierto Chihuahuense en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas, Querétaro, Guanajuato e Hidalgo.
- ***Opuntia xandersonii*** H. M. Hernández, C. Gómez-Hinostrosa y R. Bárcenas : se encuentra localizada en un área compacta al sureste del Desierto Chihuahuense, al norte de San Luis Potosí y sur de Tamaulipas. Crece en planos aluviales con suelos profundos dominados por densos grupos de *Larrea divaricata*, *Yucca filifera* y *Prosopis juliflora*, en un intervalo de altitud de 1015 a 1575 m. *Opuntia xandersonii* es un híbrido entre *Opuntia microdasys* y *Opuntia engelmannii* (Hernández *et al.*, 2001c). Aunque se observe una baja densidad poblacional y un área restringida del híbrido, no se considera una especie en riesgo porque las especies parentales de las que proviene son bastante comunes (Hernández *et al.*, 2001c).

III. Fuentes de información

La base de datos de donde se extrajo la información utilizada se encuentra en el Instituto de Biología en el laboratorio del Dr. Héctor Hernández y fue desarrollada desde la década pasada; actualmente contiene cerca de 24,200 ejemplares capturados, provenientes de 35 herbarios nacionales e internacionales con información relativa al tipo de suelo, vegetación y localidad entre otros aspectos. Se utilizaron un total 485 registros para realizar este estudio. En algunos casos se requirió la colaboración de investigadores externos al estudio, para completar datos y coordenadas geográficas de algunas especies (p. ej., Bárcenas, 2004).

Algunos registros de las especies del presente estudio no contaban con las coordenadas geográficas que se requerían, esto debido a su antigüedad o circunstancias particulares del recolector. En estos casos se consultaron mapas

turísticos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT,1994) de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Coahuila, Durango, Querétaro, Nuevo León y Tamaulipas; un mapa de Texas, E.E. U.U. de Rand McNally (2000) y otro más específico del Big Bend National Park de National Geographic (2002); también fue consultada la página www.topozone.com/ para ubicar el lugar donde las plantas fueron colectadas y obtener las coordenadas geográficas. En otros casos se obtuvieron directamente del gacetero de la Región del Desierto Chihuahuense (Henrickson & Straw,1976), esto si los registros contaban con la información de localidad completa y suficiente que lo permitiera.

IV. Método Areográfico

Para calcular el tamaño del área de la distribución de las especies se utilizó el método de propincuidad media (Rapoport, 1975) con la ayuda del programa ArcView GIS 3.2 de la siguiente manera:

a) Se obtuvieron todos los puntos de recolecta georreferidos disponibles en la base de datos con los cuales se elaboró una tabla de coordenadas por especie. Utilizando el programa ArcView GIS 3.2, la tabla fue desplegada sobre un mapa de la República Mexicana, división política escala 1:250,000, obtenido de la Comisión Nacional de la Biodiversidad (www.conabio.mx) y que fue utilizado como cartografía base para todas las especies. Todos los mapas estaban en proyección UTM. De esta manera se proyectó una nube de puntos que mostraba de forma gráfica las colectas (Figura 4a).

b) Se trazaron las distancias entre puntos más cercanos, evitando dibujar polígonos, sólo redes abiertas, creando un árbol de máxima propincuidad (Figura 4b). Todas estas líneas fueron unidas a los puntos a una escala 1:1.

c) Se sumaron todas las distancias y se dividieron entre el número de arcos; es decir, se calculó el promedio de las distancias entre cada punto obteniéndose el “índice de propincuidad media”, el cual se utilizó como radio para dibujar un círculo alrededor de cada punto (Figura 4c). Los círculos que no se sobreponen y que están separados en su centro por más de dos medias ($2r$), según Rapoport (1975) representan áreas disyuntas.

d) Finalmente se calculó el tamaño del área total (Figura 4d), definida por los radios alrededor de cada punto, con una extensión de ESRI (Environmental Science Research Inc; www.esri.com), compatible con ArcView GIS 3.2 llamada Calcula Hectáreas que permite calcular el área y perímetro de polígonos, deduciendo sobrelapamientos entre los círculos.

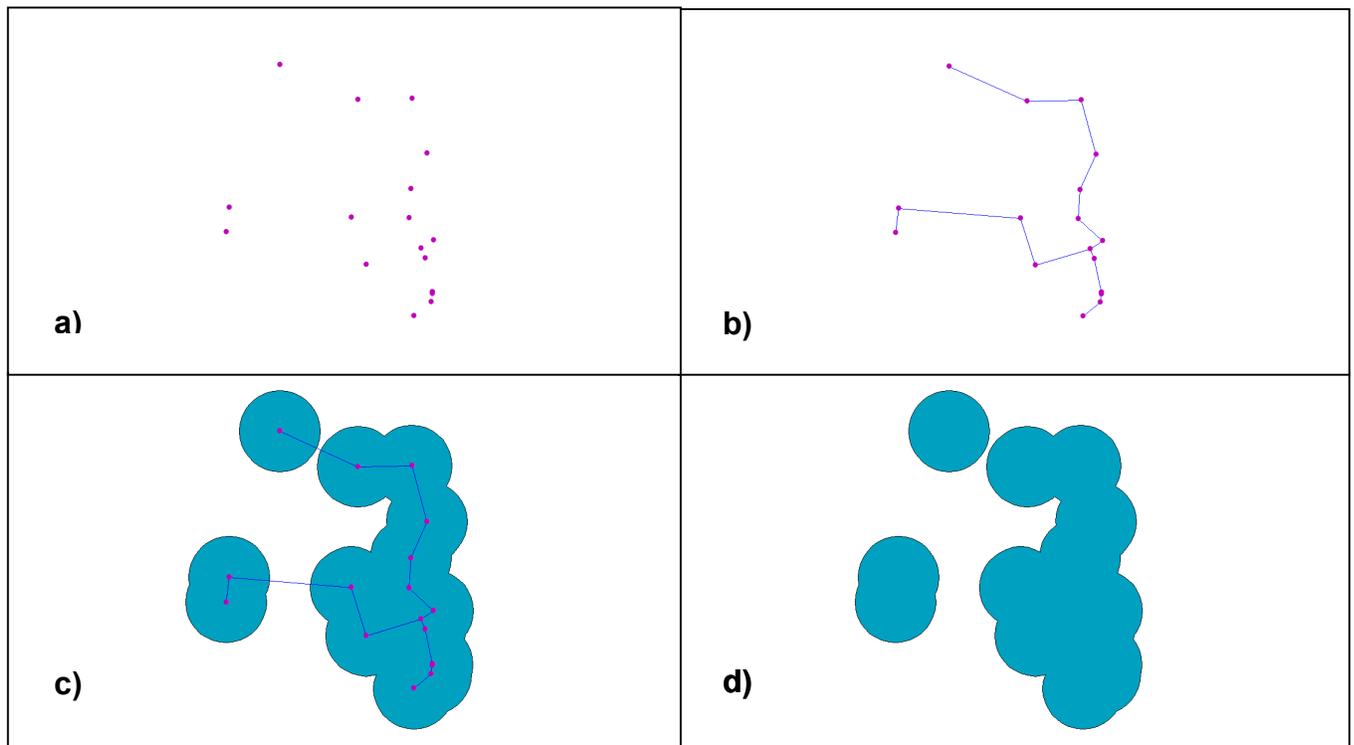


Figura 4. Método areográfico de propincuidad media de Rapoport (1975). Aplicado a *Opuntia xandersonii*. **a)** coordenadas representadas por puntos gráficos, **b)** árbol de distancias mínimas, **c)** buffer de un radio o “índice de propincuidad media” **d)** área final.

V. Método Cartográfico

También se utilizó el método cartográfico para calcular el tamaño del área de distribución, el cual puede modificarse para minimizar los problemas que trae el tamaño de cuadro (Willis *et al.* 2003), tal y como fue referido en las páginas 6 y 7:

a) Al igual que en el método areográfico, se georrefirieron los registros y se elaboró una tabla de coordenadas por especie para proyectarla como puntos gráficos mediante ArcView GIS 3.2, en el mapa base de la República Mexicana, de lo cual se derivó la nube de puntos que se observa en la Figura 5a.

b) Para obtener el tamaño de cuadro se realizó la siguiente modificación propuesta por Willis *et al.* (2003) : en la nube de puntos se identificaron los puntos más alejados o separados entre sí y se midió la distancia entre ellos (Figura 5b).

c) La distancia máxima obtenida se dividió entre diez. El resultado de esta operación se usó como medida de la cuadrícula. Por medio de una extensión de ArcView GIS 3.2 llamada ET VectorGrid (ver. 2.0) se colocó una malla reticulada sobre los puntos (Figura 5c). La extensión permite modificar su tamaño a voluntad, colocando el tamaño deseado en metros en los ejes X y Y.

d) Finalmente el tamaño de cada lado de la cuadrícula se elevó al cuadrado para obtener el área del cuadro . Se contaron los cuadros ocupados en donde apareció algún punto de colecta. Entonces el área se multiplicó por el número de cuadros ocupados y se obtuvo el tamaño del área de distribución. Este procedimiento se realizó con cada especie, de forma que para cada una se obtuvo un tamaño de cuadro diferente a las demás (Figura 5d).

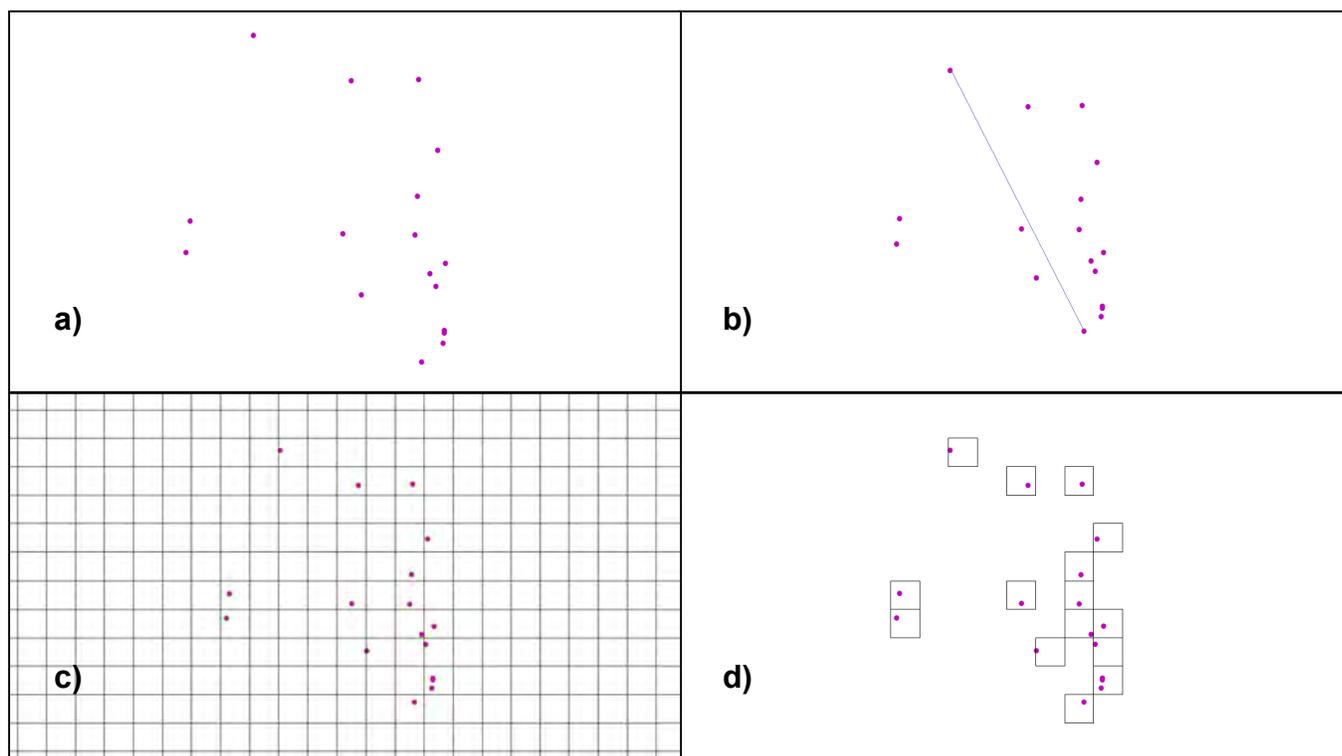


Figura 5. Método cartográfico con modificaciones de Willis *et al.* (2003). Aplicado a *Opuntia xandersonii*. **a)** coordenadas convertidas en puntos gráficos (nube de puntos), **b)** identificación y cálculo de distancia máxima, **c)** malla reticulada y **d)** cuadros ocupados donde aparece algún punto de recolecta.

VI. Método Cartográfico por Conglomerados

Debido al hecho de que los métodos areográfico y cartográfico producen resultados generalmente sobreestimados, en este trabajo se propone un método alternativo que toma en cuenta algunos elementos de los métodos mencionados. Este procedimiento, que llamamos método cartográfico por conglomerados, reconoce la existencia de poblaciones segregadas o puntos aislados (satélites) y agrupaciones de dos o más puntos (conglomerados), los cuales son identificados de una manera objetiva como áreas disyuntas definidas con el método areográfico por Rapoport (1975). Este método, al igual que los otros dos, es repetible y consistió en los siguientes pasos:

a) Se desplegó la tabla de coordenadas en ArcView GIS 3.2 sobre la cartografía base. Los registros se proyectan como puntos gráficos formando una nube de puntos (Figura 6a).

b) Después se identificaron los conglomerados y satélites con ayuda del mapa del área de distribución generada con el método areográfico (Figura 6b). Los satélites fueron definidos como círculos aislados y los conglomerados como dos o más círculos sobrelapados, los cuales pueden estar separados de otros conglomerados por cualquier distancia. Se registró el número de conglomerados y satélites.

c) Se calculó la distancia que existe entre los puntos más alejados de cada conglomerado. Esta distancia máxima se dividió entre diez, el resultado de esta operación determinó el tamaño de cuadrícula para cada conglomerado por separado (Figura 6c).

d) Con ayuda de la extensión ET VectorGrid (ver 2.0) de ArcView GIS 3.2 se cuadrículó cada conglomerado con su tamaño particular de cuadro (Figura 6d).

e) Finalmente, se calculó el área de cada cuadro, se multiplicó por el número de cuadros ocupados y se obtuvo el tamaño de área de distribución por cada conglomerado. Después se sumaron todos los tamaños de área resultantes de los conglomerados. En cuanto a los satélites, se les asignó un valor constante aunque arbitrario para todas las especies de 2 km^2 , de acuerdo con datos recabados de varias especies de Cactáceas (Hernández, H., com. pers.).

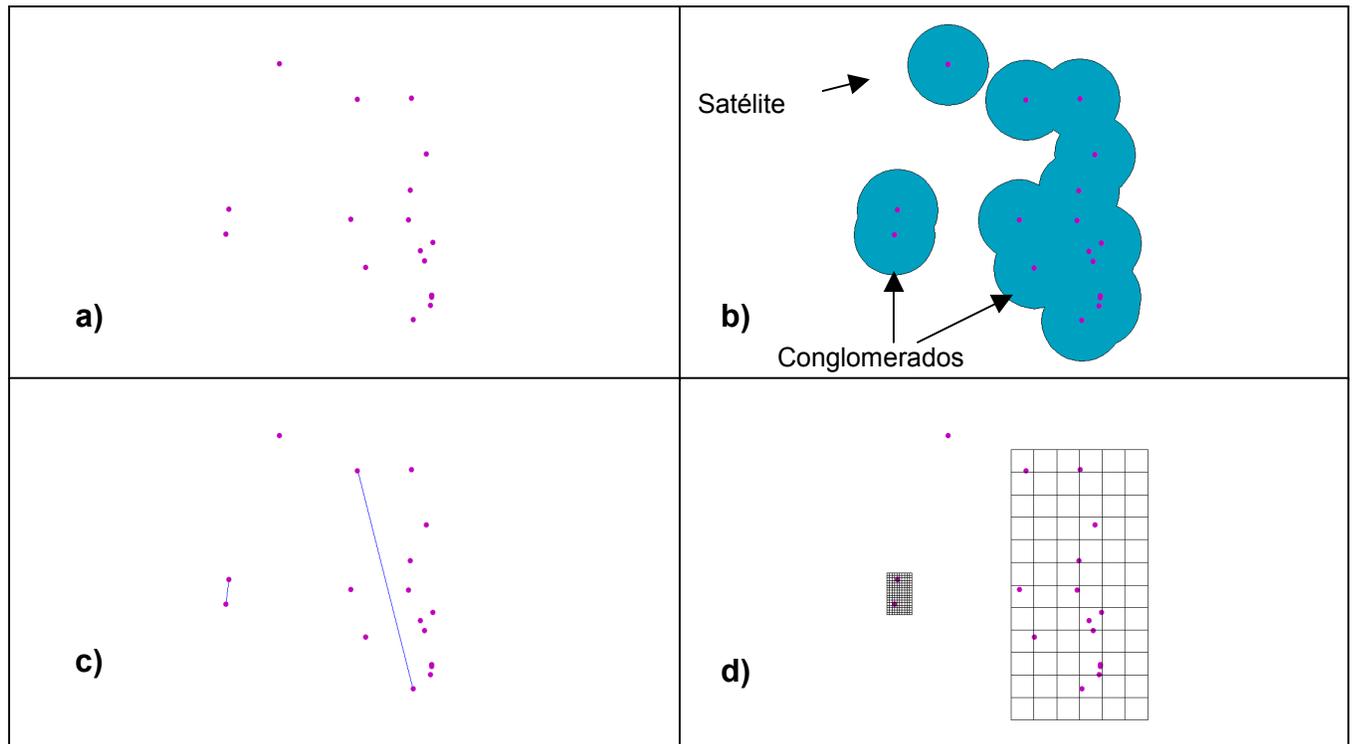


Figura 6. Método cartográfico por conglomerados . Para *Opuntia xandersonii*. **a)** coordenadas convertidas a puntos gráficos (nube de puntos), **b)** mapa de distribución del tamaño de área calculado con el método areográfico. Se observa en el mapa la existencia de dos conglomerados y un solo satélite para esta especie, **c)** distancias máximas para los dos conglomerados que se presentan y que posteriormente definirán el tamaño de la cuadrícula, **d)** se observa la cuadrícula para los dos conglomerados, el conglomerado más pequeño tiene un tamaño de cuadro tan reducido que apenas se distingue.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las diez especies estudiadas, cinco (*Cylindropuntia kleiniae*, *Grusonia grahamii*, *Opuntia stenopetala*, *Opuntia rufida* y *Grusonia bradtiana*) presentaron áreas de distribución amplias en el Desierto Chihuahuense y las cinco especies restantes (*Opuntia pachyrrhiza*, *Cylindropuntia anteojoensis*, *Opuntia xandersonii*, *Opuntia chaffeyi* y *Opuntia megarrhiza*) son de distribución restringida, endémicas de la Región del Desierto Chihuahuense y en su mayoría presentan un solo conglomerado.

A continuación se presentan los mapas con las áreas de distribución para cada una de las especies estudiadas. Para cada especie se incluyen dos mapas, en uno se proyectan los resultados de los métodos areográfico y cartográfico (Figuras a) y en el otro las cuadrículas y satélites del método cartográfico por conglomerados (Figuras b).

La especie *Cylindropuntia kleiniae* se distribuye ampliamente por todo el Desierto Chihuahuense desde Arizona y Texas hasta la subregión meridional (Figura 7a), e incluso existen puntos de recolecta en el Estado de Puebla (valle de Tehuacán). La mayor agregación de puntos se localiza en la parte media de su área de distribución con pocos satélites dispersos en Arizona y Texas (Figura 7b).

Respecto a las especies *G. grahamii* y *O. rufida*, ambas tienen una distribución muy similar, que abarca los estados de Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Durango y Texas (Figura 8a y 9a).

Opuntia stenopetala es una especie abundante y conspicua que presenta el mayor número de conglomerados y satélites, dicha particularidad se refleja en la existencia de dos zonas con una alta densidad de registros de recolecta rodeadas por extensas áreas con una menor densidad de puntos (Figuras 10a y 10b). Este arreglo espacial refleja el esfuerzo de colecta efectuado en dos polígonos aledaños en San Luis Potosí y partes de N.L. y Tamaulipas, cada uno de medio minuto por medio minuto (Gómez-Hinostrosa, 1998 y Hernández et al., 2001d), dentro de los cuales se realizó un registro exhaustivo para *O. stenopetala*.

Cylindropuntia kleiniae

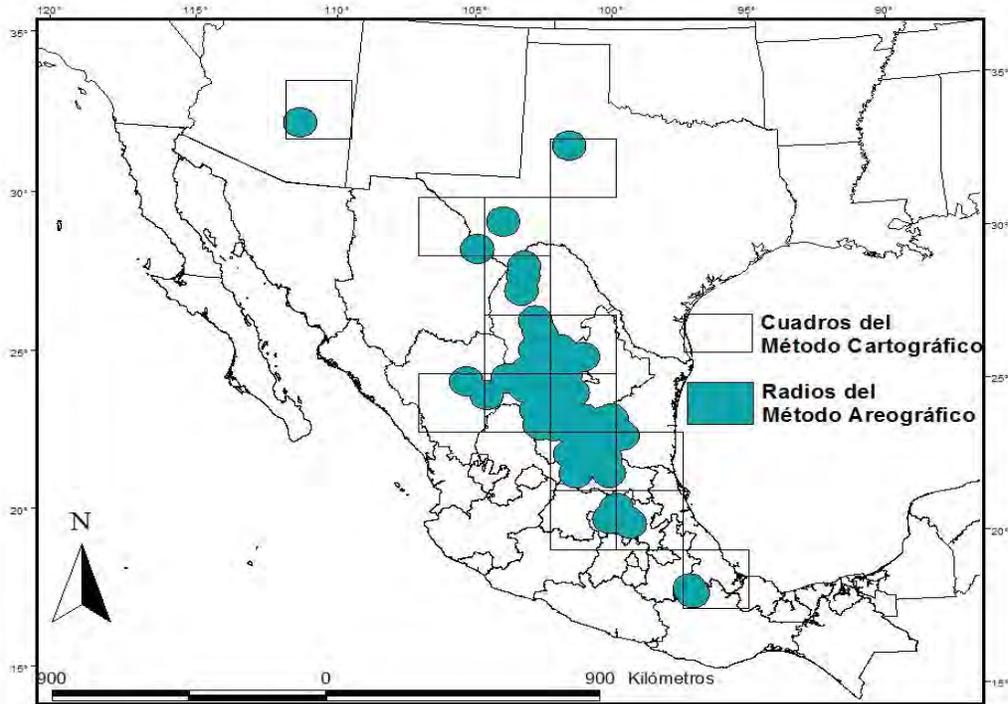


Figura 7a. *Cylindropuntia kleiniae*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico

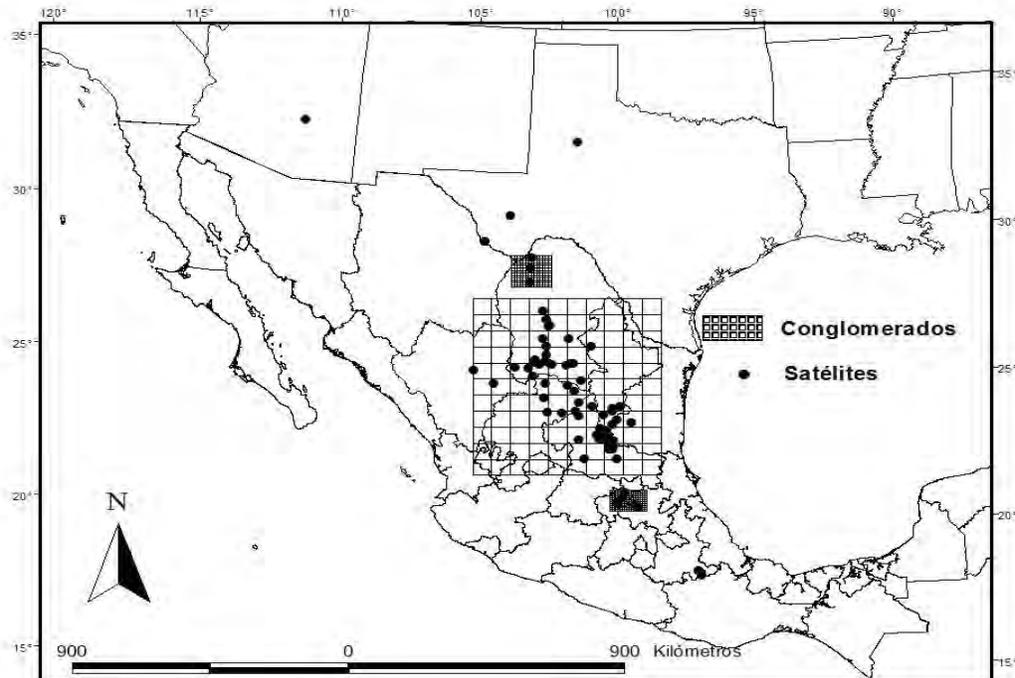


Figura 7b. *Cylindropuntia kleiniae*. Con el método cartográfico por conglomerados se revelan cuatro conglomerados y cuatro satélites. El cuarto conglomerado está compuesto por dos puntos muy cercanos, por lo que apenas se puede distinguir.

Grusonia grahamii

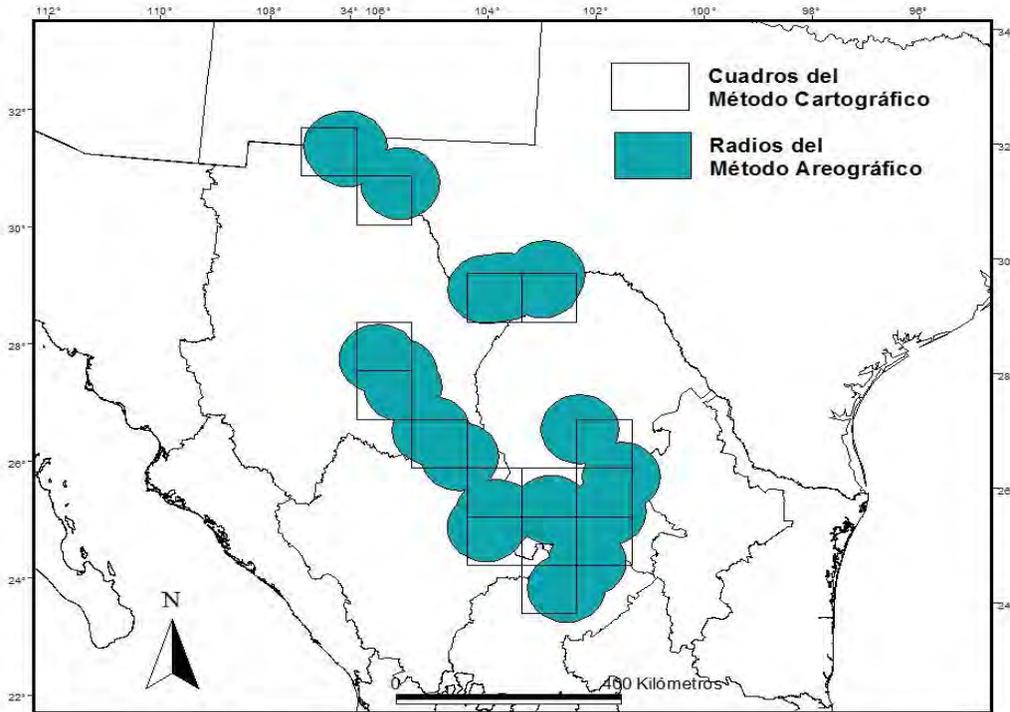


Figura 8a. *Grusonia grahamii*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

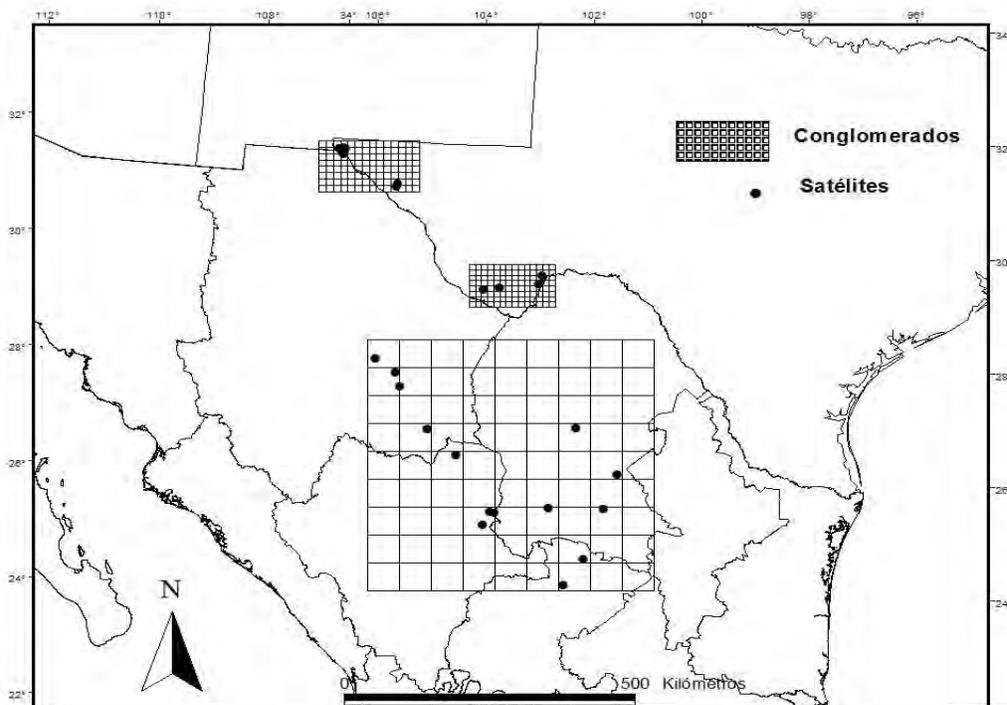


Figura 8b. *Grusonia grahamii*. Con el método cartográfico por conglomerados está compuesta de tres conglomerados.

Opuntia rufida

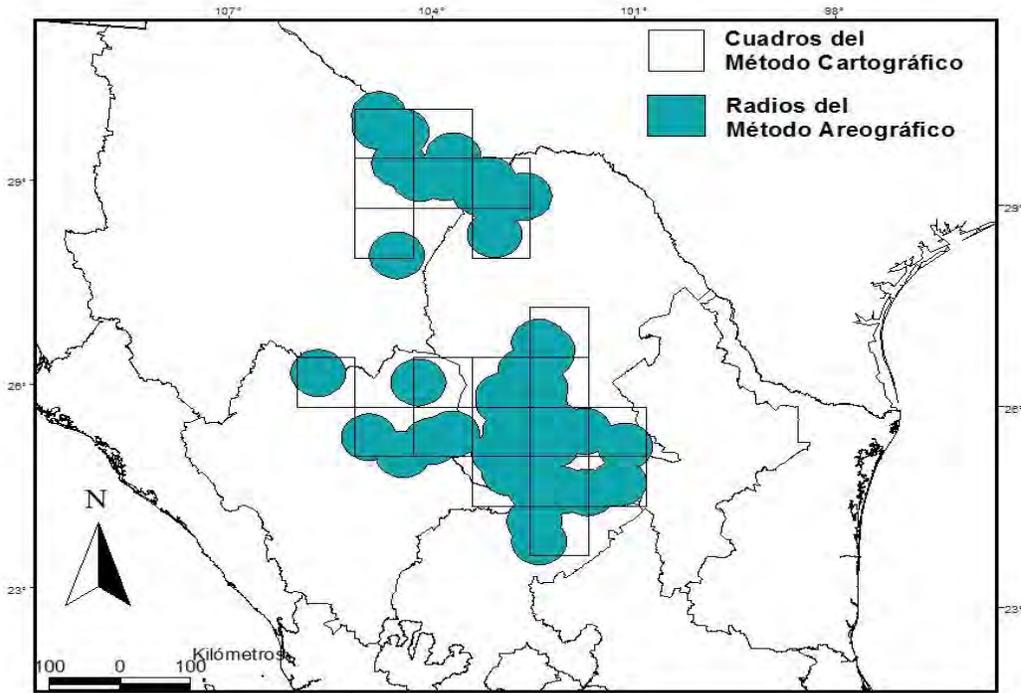


Figura 9a. *Opuntia rufida*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

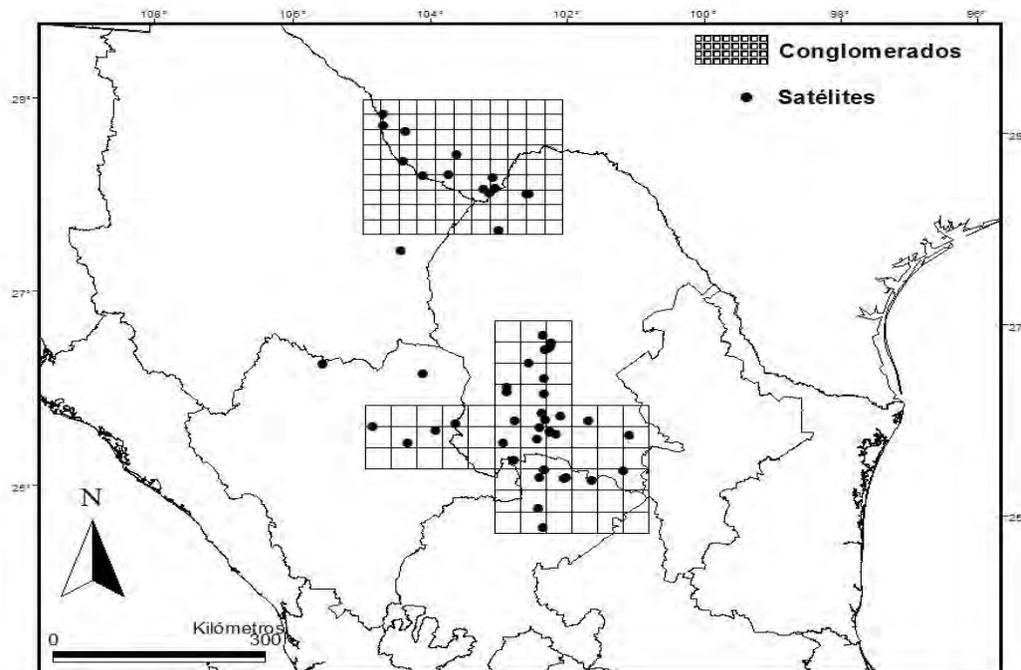


Figura 9b. *Opuntia rufida*. Con el método cartográfico por conglomerados se distinguen dos conglomerados y tres satélites.

Opuntia stenopetala

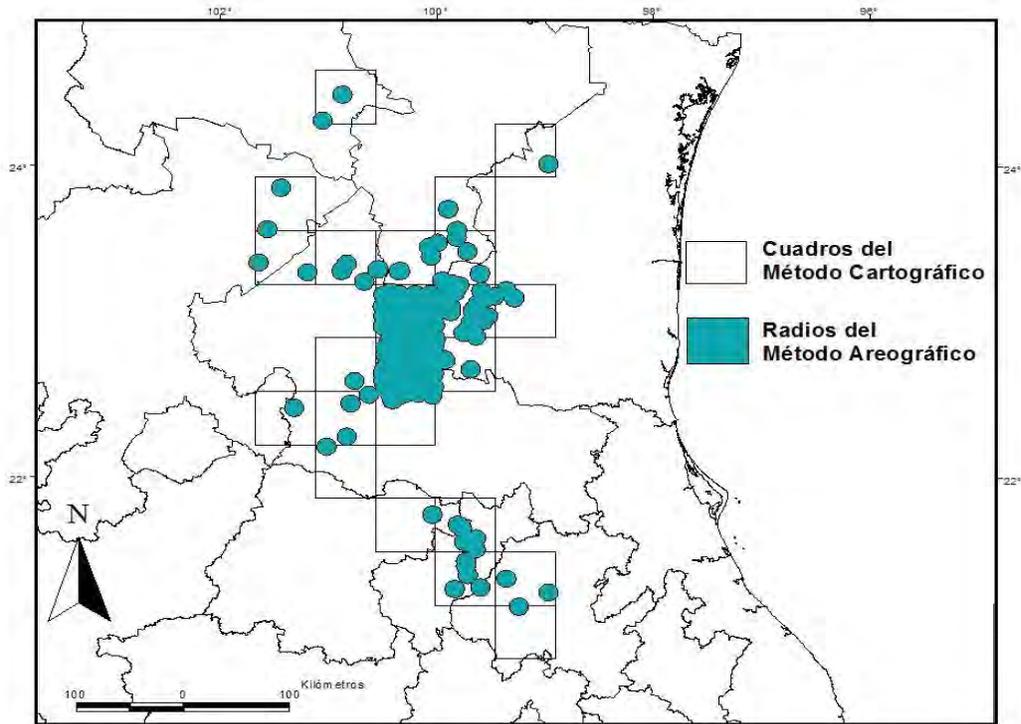


Figura 10a. *Opuntia stenopetala*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

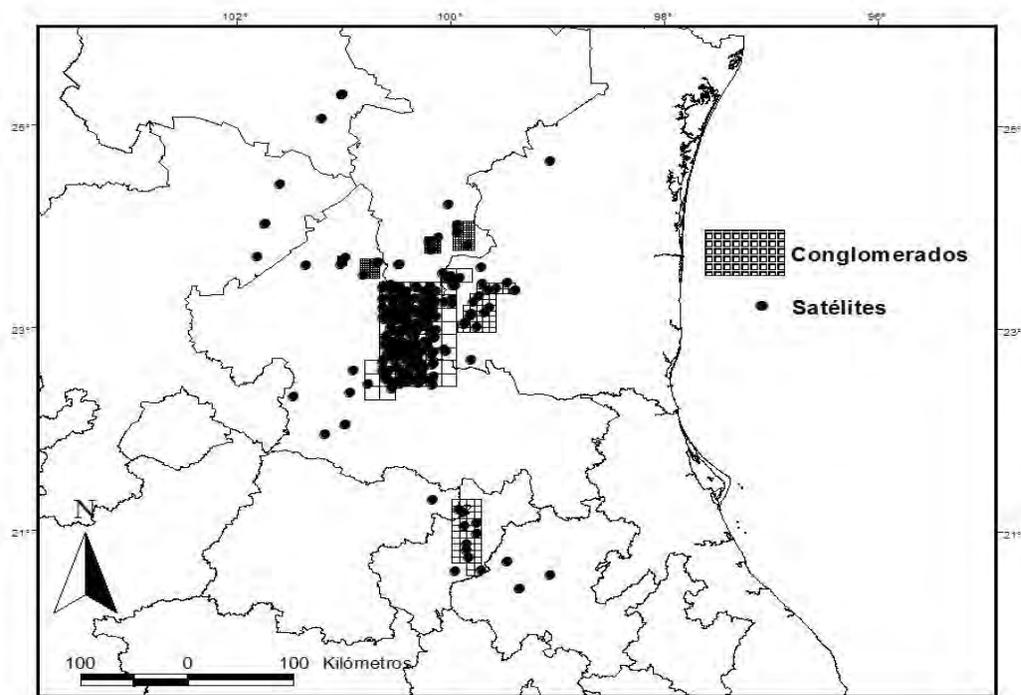


Figura 10b. *Opuntia stenopetala*. Con el método cartográfico por conglomerados tiene ocho conglomerados y 20 satélites.

Grusonia bradtiana

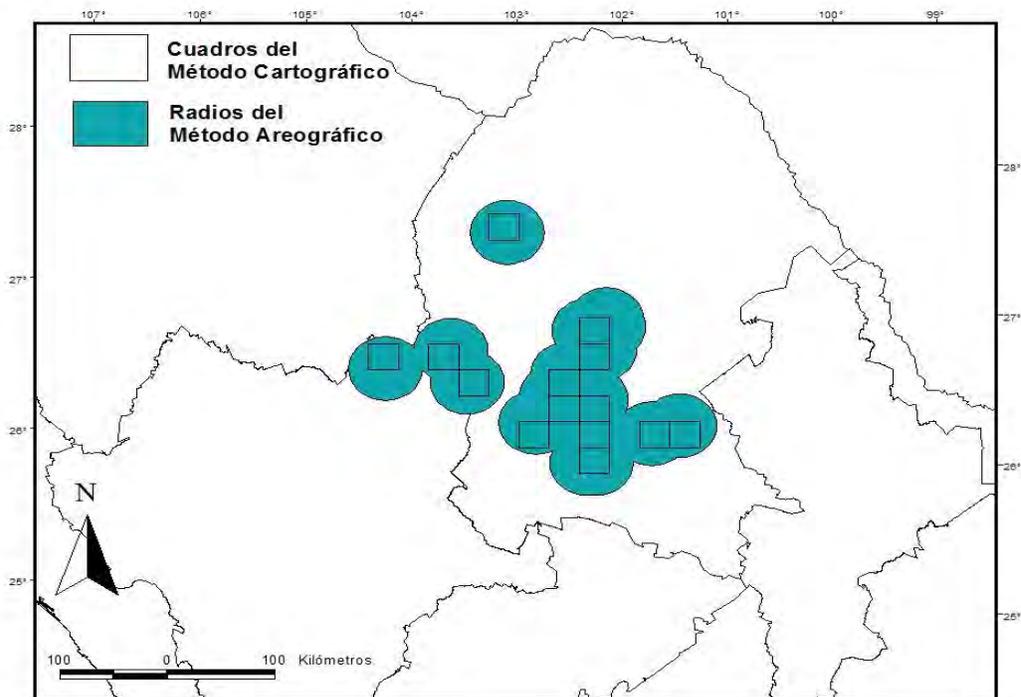


Figura 11a. *Grusonia bradtiana*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

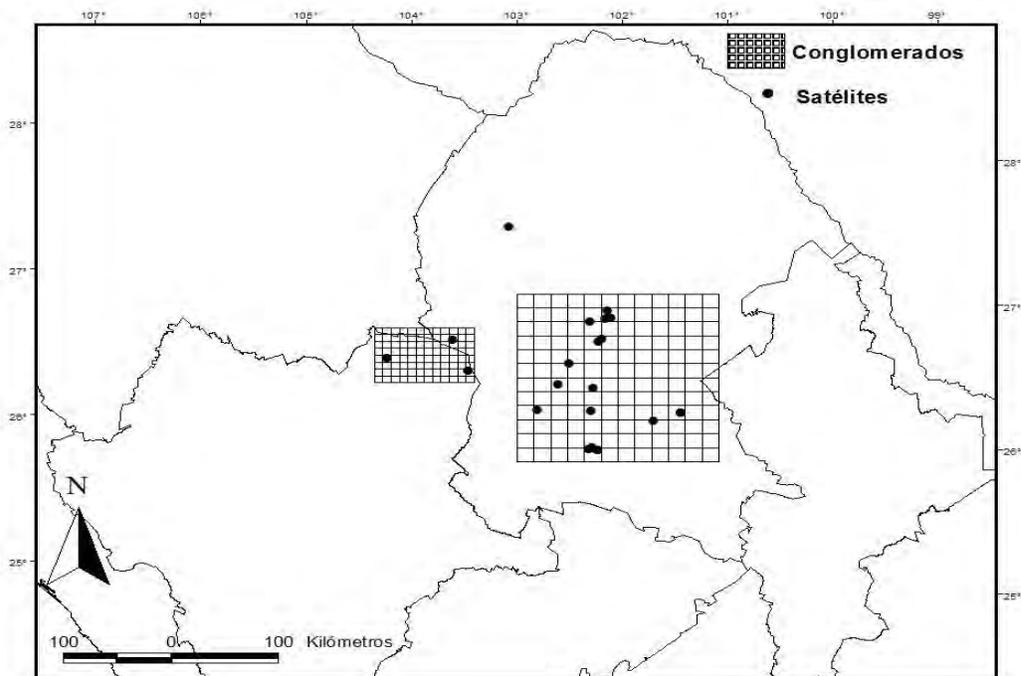


Figura 11b. *Grusonia bradtiana*. Con el método cartográfico por conglomerados se revelan dos conglomerados y un satélite.

En el caso de *G. bradtiana* que es una especie que presenta densidades poblacionales altas, su área de distribución abarca principalmente partes de la región central y sur del estado de Coahuila, con algunas localidades en el Noreste de Durango (Figuras 11a y 11b).

La especie *O. pachyrrhiza* se presenta principalmente en el estado de San Luis Potosí (Figura 12a), en donde se localiza su único conglomerado y presenta tres satélites: en S.L.P., Tamaulipas y Querétaro (Figura 12b).

Por su parte, *C. anteojoensis* es una especie que solamente se encuentra en algunas localidades cerca de Cuatro Ciénegas y presenta un único conglomerado con un satélite (Figuras 13a y 13b). Cabe resaltar que los puntos de recolecta registrados están dispersos alrededor de la cabecera municipal así como en la localidad el Anteojo, considerada como la localidad tipo de la especie en donde se presenta una alta concentración de registros.

En relación a la especie *O. xandersonii* que es un híbrido de distribución restringida, presenta dos conglomerados en San Luis Potosí y Tamaulipas, así como un único satélite en el estado de Nuevo León (Figuras 14a y 14b).

Por último *O. chaffeyi*, endémica de Zacatecas (Figuras 15a y 15b) y *O. megarrhiza*, endémica de San Luis Potosí (Figuras 16a y 16b) son dos especies de baja abundancia (Hernández H., com. pers.), y que junto con *C. anteojoensis* presentan el menor número de puntos de recolecta registrados y las áreas de distribución más reducidas.

Opuntia pachyrrhiza

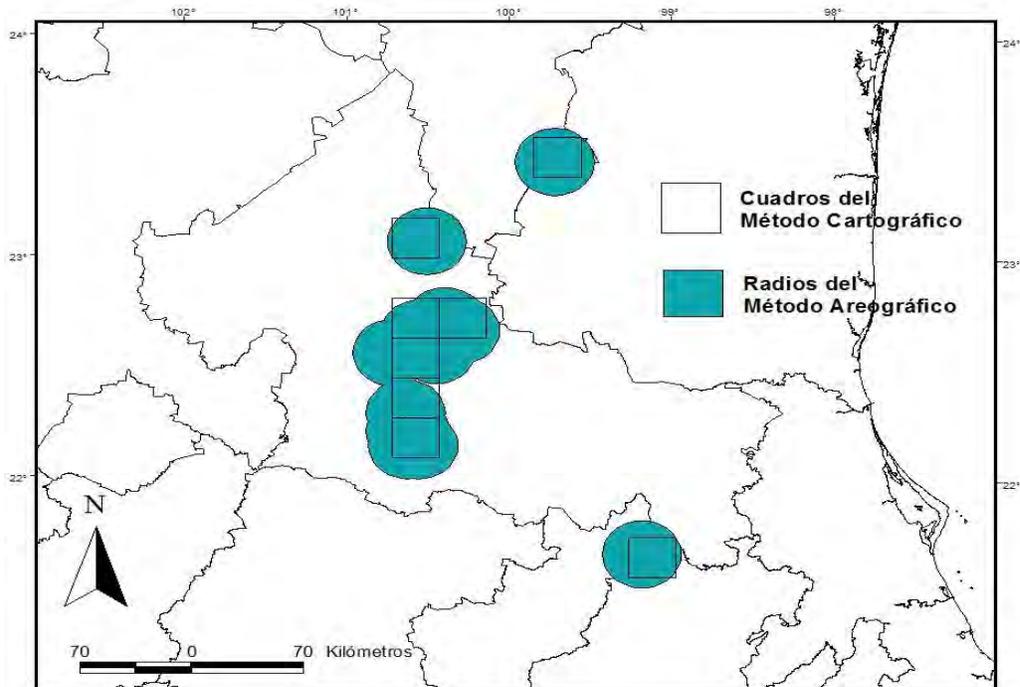


Figura 12a. *Opuntia pachyrrhiza*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

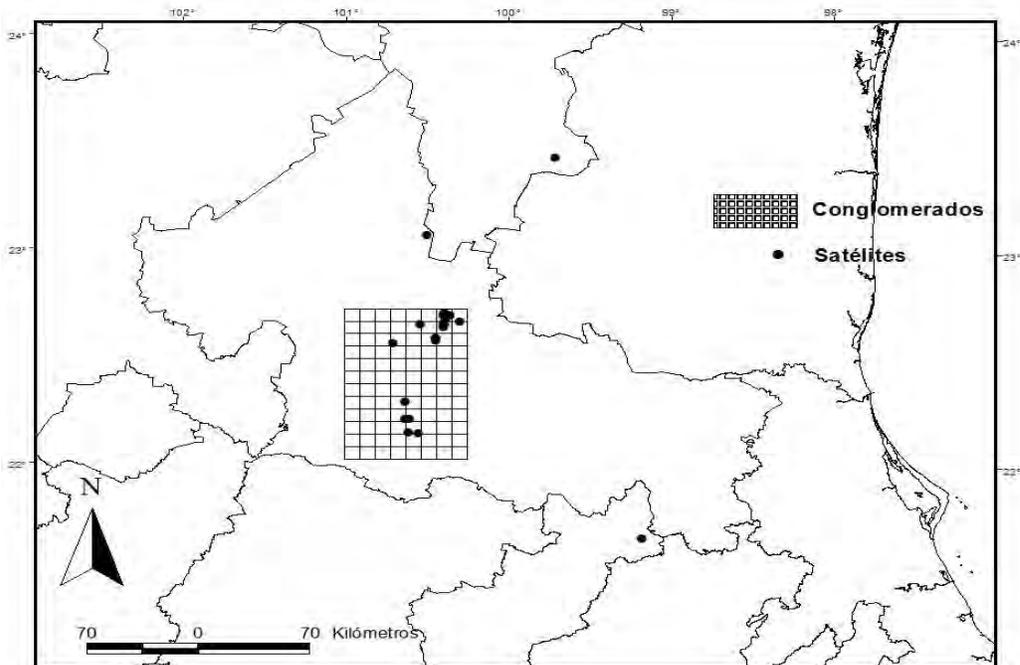


Figura 12b. *Opuntia pachyrrhiza*. Con el método cartográfico por conglomerados se distinguen un conglomerado y tres satélites.

Cylindropuntia anteojoensis

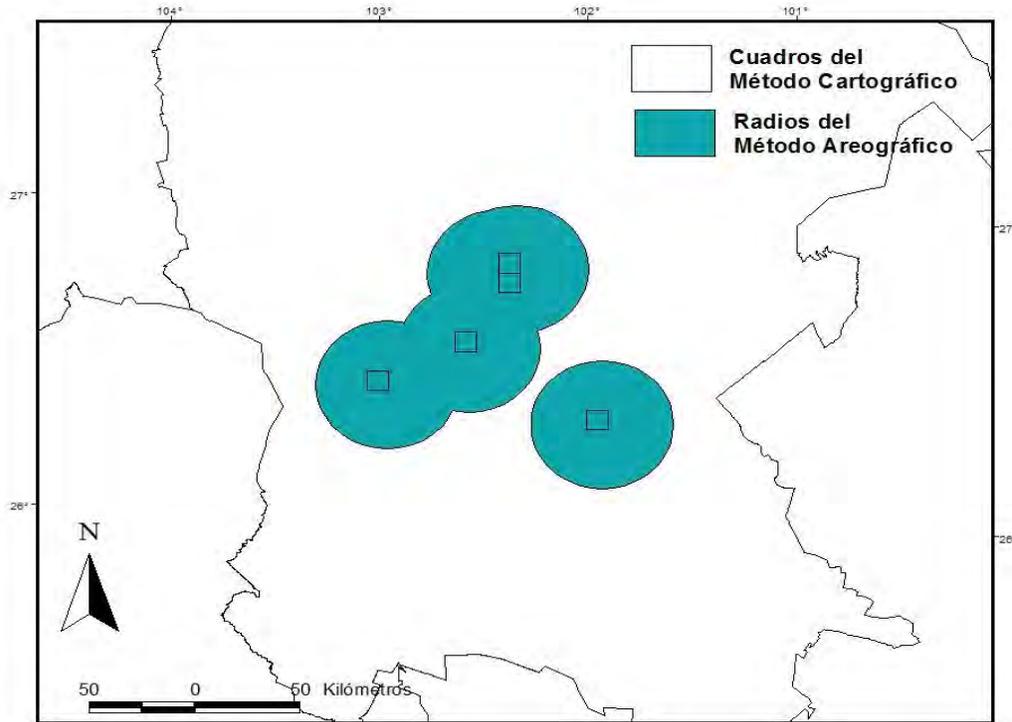


Figura 13a. *Cylindropuntia anteojoensis*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

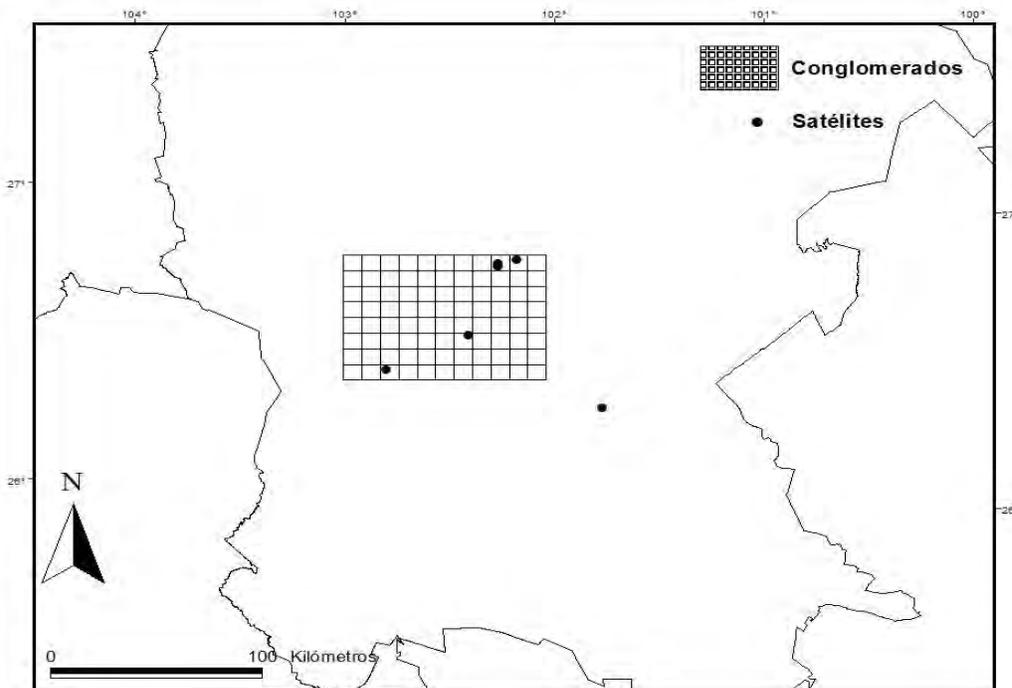


Figura 13b. *Cylindropuntia anteojoensis*. Con el método cartográfico por conglomerados sólo se distingue un conglomerado y un satélite.

Opuntia xandersonii

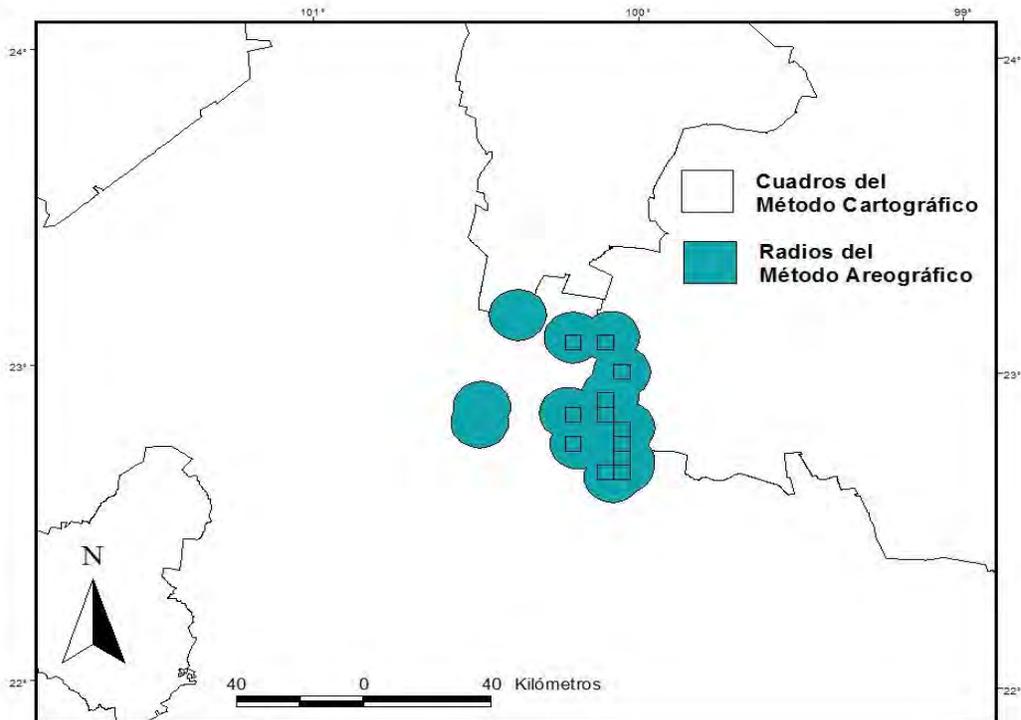


Figura 14a. *Opuntia xandersonii*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

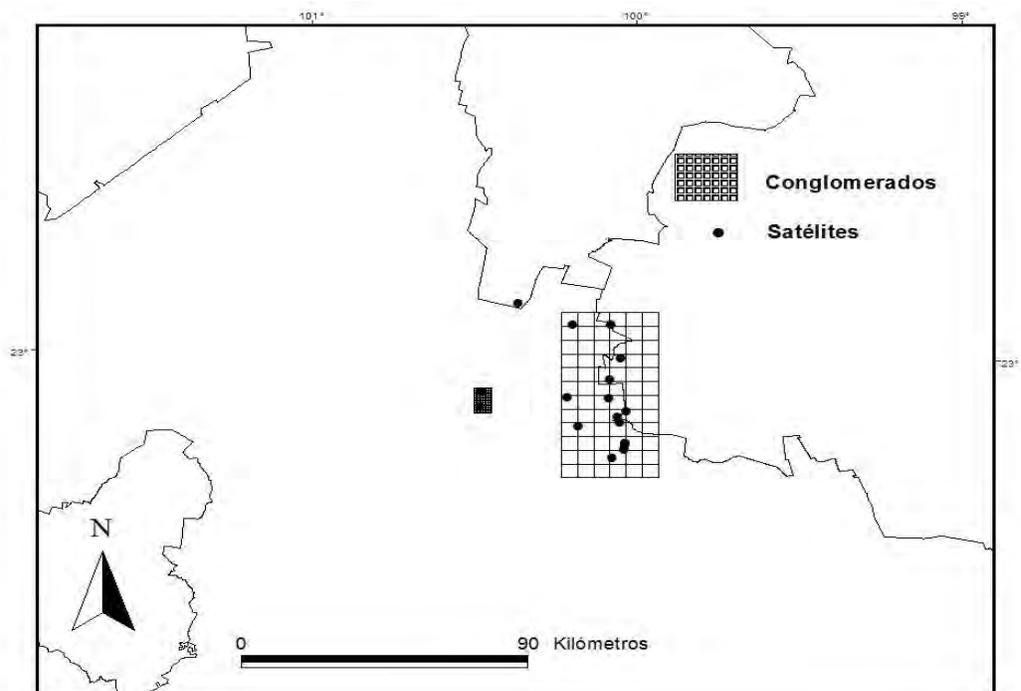
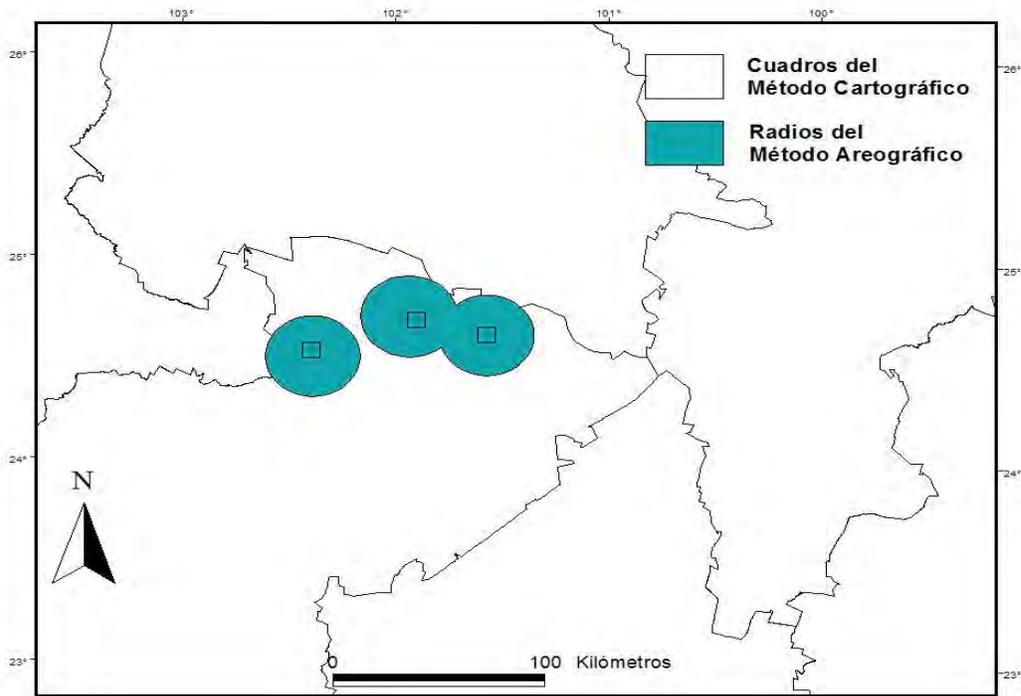


Figura 14b. *Opuntia xandersonii*. Con el método cartográfico por conglomerados se distinguen dos conglomerados y un sólo satélite.

Opuntia chaffeyi



Mapa 15a. *Opuntia chaffeyii*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

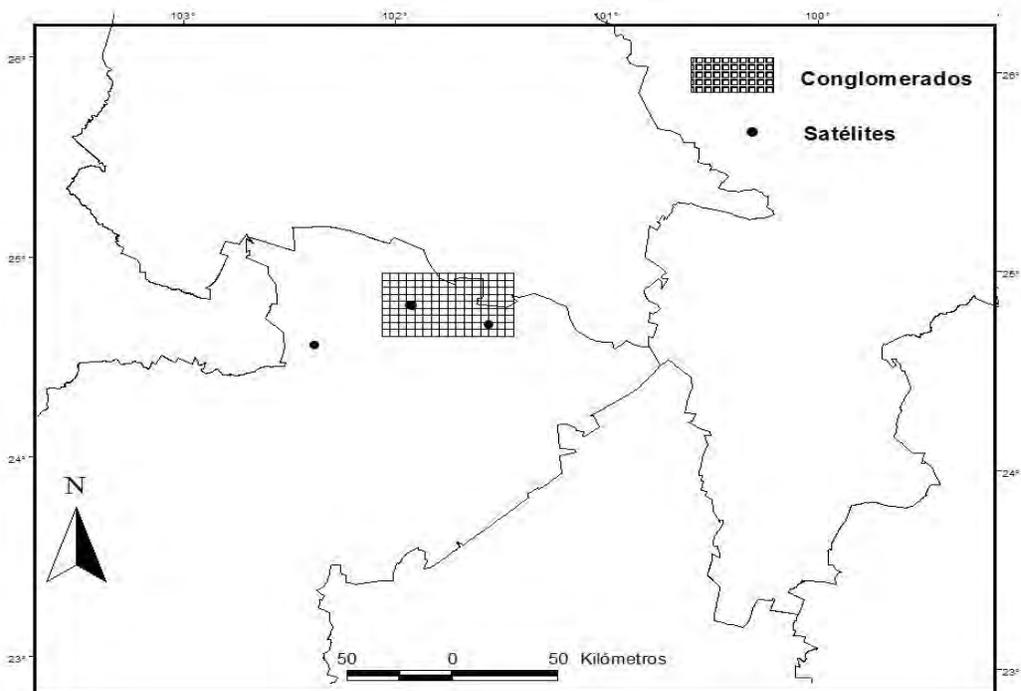


Figura 15b. *Opuntia chaffeyii*. Con el método cartográfico por conglomerados solo se distinguen un conglomerado y un satélite.

Opuntia megarrhiza

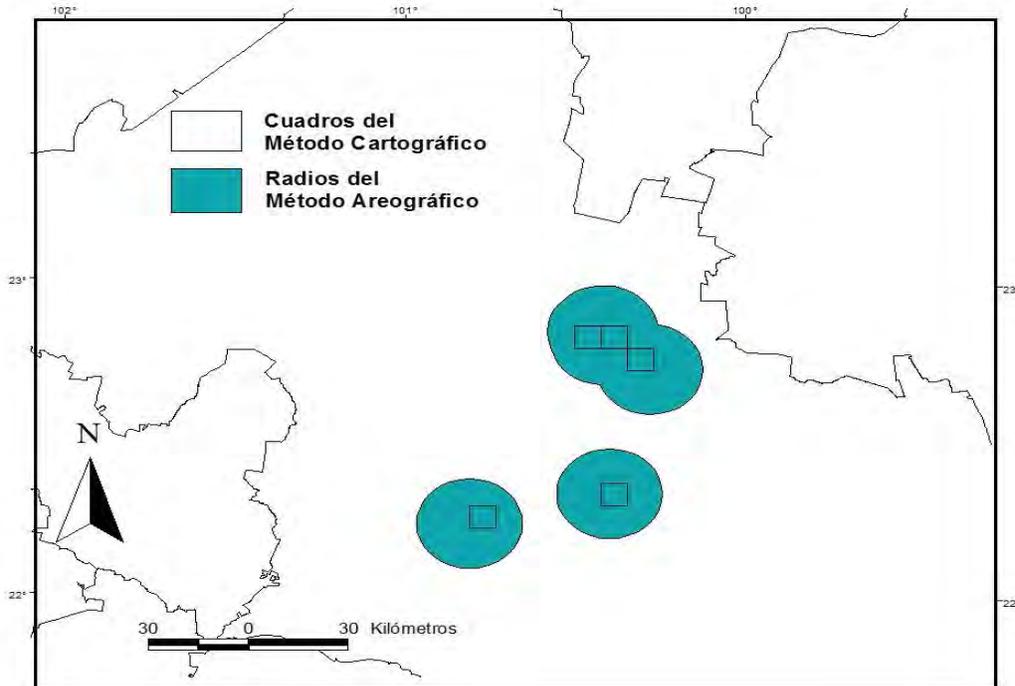


Figura 16a. *Opuntia megarrhiza*. Áreas de distribución con métodos areográfico y cartográfico.

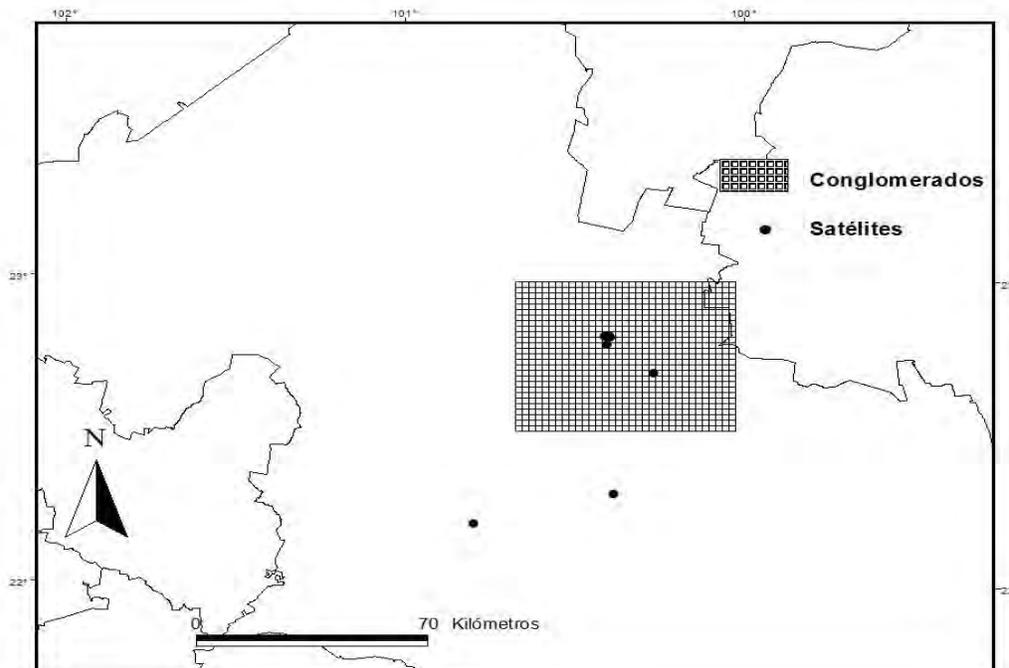


Figura 16b. *Opuntia megarrhiza*. Con método cartográfico por conglomerados se distinguen un conglomerado y dos satélites.

Se calculó con base en los mapas de distribución, el tamaño de las áreas totales de distribución de las diez especies estudiadas, evidenciándose diferencias entre los métodos empleados. El método areográfico, el cartográfico y cartográfico por conglomerados son influidos de diferente manera por dos aspectos principales: el número de recolectas y la distancia entre ellas.

Los resultados obtenidos con el método areográfico dependen principalmente de el índice de propincuidad media. Es necesario mencionar que el índice es el promedio de las distancias que existen entre los puntos, y de este promedio depende la magnitud del resultado. En el Cuadro 1 sobresale el incremento en el tamaño del área total, conforme aumenta el valor del índice de propincuidad media. No obstante lo anterior, *O. stenopetala* no presenta dicha relación toda vez que es una especie con un valor de índice bajo, pero con un tamaño de área total grande; dicha desviación se debe a que es una especie con gran número de registros; *C. kleiniae* es un caso muy parecido.

Especies	Índice de Propincuidad Media	Área Total (km ²)
<i>C. kleiniae</i>	54.83	267,553.3
<i>G. grahamii</i>	66.62	184,516.6
<i>O. rufida</i>	38.66	118,452.1
<i>G. bradtiana</i>	34.43	38,004.1
<i>O. stenopetala</i>	9.15	21,078.6
<i>O. pachyrrhiza</i>	24.78	13,805.2
<i>C. anteojoensis</i>	33.86	13,116.8
<i>O. chaffeyi</i>	22.1	4,532.4
<i>O. megarrhiza</i>	15.86	3,003.6
<i>O. xandersonii</i>	8.98	2,328.4

Cuadro 1. Datos obtenidos del análisis del tamaño del área de distribución realizado con el método areográfico.

Con el método cartográfico se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro 2, en el cual se puede observar que *C. kleiniae* presenta la distancia máxima más grande, que produce el mayor resultado de todas las especies. Es

importante recalcar que la distancia máxima define el tamaño de la cuadrícula y por lo tanto es el componente que en mayor medida define el tamaño de área final.

Especies	Distancia máxima (km)	10% Distancia	Área del cuadro (km²)	No. de Cuadros	Área Total (km²)
<i>C. kleiniae</i>	2,171.08	217.108	47,135.88	15	707,038.2
<i>O. rufida</i>	822.26	82.226	6,761.11	21	141,983.3
<i>G. grahamii</i>	942.25	94.225	8,878.35	14	124,296.9
<i>O. stenopetala</i>	566.58	56.658	3,210.13	23	73,833.0
<i>G. bradtiana</i>	280.17	28.017	784.95	14	10,989.3
<i>O. pachyrrhiza</i>	295.43	29.543	872.79	8	6,982.3
<i>C. anteojoensis</i>	104	10.4	108.16	5	540.8
<i>O. xandersonii</i>	64.33	6.433	41.38	15	620.7
<i>O. megarrhiza</i>	79.18	7.918	62.69	5	313.5
<i>O. chaffeyi</i>	82.32	8.232	67.76	3	203.3

Cuadro 2. Datos obtenidos del análisis realizado con el método Cartográfico.

En la mayoría de las especies el resultado del tamaño de área aumenta conforme aumenta el valor de la distancia máxima. Sin embargo, en las especies con tamaño de distribución restringido como en el caso de *O. xandersonii*, la relación es menos clara y los resultados también están influidos por el número de cuadros ocupados, aunque en menor medida.

También en el método cartográfico por conglomerados el tamaño del área de distribución total depende de la distancia máxima más grande que tenga la especie. En este caso se hace referencia a la mayor distancia máxima ya que el uso de conglomerados en el método provoca que algunas especies tengan más de un solo valor de distancia máxima (Cuadro 3), como en el caso de *O. stenopetala* que tiene ocho valores de distancia máxima, uno para cada uno de sus conglomerados.

Especies	Satélites	Conglomerados	Distancia máx.	10% Distancia	Área de la celda (km ²)	No. de cuadros	Área (km ²)
<i>C. kleiniae</i>	4	1	92.36	9.236	85.304	3	255.912
		2	20.27	2.027	4.109	3	12.327
		3	72.34	7.234	52.331	5	261.655
		4	613.79	61.379	3,767.38	30	113,021.40
<i>G. grahamii</i>	0	1	123.61	12.361	152.794	5	763.97
		2	546.75	54.675	2,989.36	12	35,872.32
		3	105.01	10.501	110.271	4	441.084
<i>O. rufida</i>	3	1	256.73	25.673	659.103	12	7,909.24
		2	362.7	36.27	1,315.51	15	19,732.65
<i>O. stenopetala</i>	20	1	143.73	14.373	206.583	38	7,850.15
		2	69.91	6.991	48.874	8	390.992
		3	60.47	6.047	36.566	13	475.358
		4	24.75	2.475	6.125	3	18.375
		5	15.94	1.594	2.541	3	7.623
		6	8.93	0.893	0.797	2	1.594
		7	18.91	1.891	3.576	3	10.728
		8	1.21	0.121	0.015	2	0.03
<i>G. bradtiana</i>	1	1	156.25	15.625	244.141	13	3,173.83
		2	77.15	7.715	59.521	3	178.563
<i>O. pachyrrhiza</i>	3	1	94.51	9.451	89.321	11	982.53
<i>C. anteojoensis</i>	1	1	86.91	8.691	75.533	4	302.13
<i>O. xandersonii</i>	1	1	50.61	5.061	5.57	11	281.75
		2	5.57	0.557	0.31	2	0.62
<i>O. chaffeyi</i>	1	1	38.56	3.856	14.868	2	29.74
<i>O. megarrhiza</i>	2	1	20.08	2.008	4.032	5	20.16

Cuadro 3. Datos obtenidos del análisis realizado con el método cartográfico por conglomerados.

Los números en negritas en la columna de la derecha corresponden a los valores totales de cada especie.

Como se describió anteriormente, cada uno de los métodos está basado en aspectos particulares que les asocian cierto grado de incertidumbre y le dan peso a diferentes variables.

Según Rapoport (1975) para que el método areográfico funcione adecuadamente las recolectas se deben realizar uniformemente, lo cual resulta muy difícil bajo las condiciones de heterogeneidad ambiental que existen en México. Sin embargo, en el caso de *Opuntia stenopetala* (Figura 10a), que tiene los esfuerzos de recolecta más desiguales, el resultado es bastante confiable tomando en cuenta las observaciones de campo además de que es una especie muy abundante. El resultado obtenido para *Cylindropuntia kleiniae* (Cuadro 1) también resulta bastante. Estas dos especies tienen la mayor cantidad de puntos de recolecta, por lo cual es factible que el método funcione adecuadamente con nubes muy compactas de puntos. Asimismo, al momento de calcular el promedio de las distancias entre puntos, estos aglomeraciones tienen un efecto estabilizador sobre aquellos puntos dispersos o aislados.

El método areográfico además, se sostiene bajo el supuesto de que cada punto corresponde a una población y no a un individuo aislado (Zunino y Zullini, 2003), lo cual es causa de inconsistencia ya que hay registros de recolectas muy cercanas en las que no hay modo de diferenciar si pertenecen o no a la misma población. En el caso de tener un solo punto lejano a los demás puede tratarse efectivamente de un individuo aislado relicto de una población o en proceso de colonización.

En cuanto al método cartográfico, existen varios problemas asociados a los resultados del uso de la malla, dentro de los que se incluye la elección del tamaño de la cuadrícula, escala del análisis y posicionamiento arbitrario de la cuadrícula (Willis *et al.*, 2003). La Comisión para la Sobrevivencia de las Especies de la UICN (2001) especifica que el tamaño de la celda debe ser elegido tomando en cuenta una escala apropiada bajo las características de cada organismo. Es preferible no emplear un tamaño de celda único para todas las especies.

La limitación del método cartográfico de no poder definir un tamaño de malla para cada especie se supera con el ajuste propuesto por Willis, *et al.* (2003):

al tomar la distancia máxima y dividirla entre diez se obtuvo un tamaño de cuadrícula para cada una de las especies estudiadas, que corresponde a un décimo del diámetro del polígono de la extensión de la presencia (criterio B1).

Especies	Areográfico (Km²)	Cartográfico (Km²)	MCC* (Km²)
<i>C. kleiniae</i>	267,553.3	707,038.2	113,559.3
<i>G. grahamii</i>	184,516.6	124,296.9	37,077.4
<i>O. rufida</i>	118,452.1	141,983.3	27,647.9
<i>O. stenopetala</i>	21,078.6	73,833.0	8,794.9
<i>G. bradtiana</i>	38,004.1	10,989.3	3,354.4
<i>O. pachyrrhiza</i>	13,805.2	6,982.3	988.5
<i>C. anteojoensis</i>	13,116.8	540.8	304.1
<i>O. xandersonii</i>	2,328.4	620.7	284.4
<i>O. chaffeyi</i>	4,532.4	203.3	31.7
<i>O. megarrhiza</i>	3,003.6	313.5	24.2

Cuadro 4. Comparación de las áreas obtenidas con cada uno de los métodos. Se presentan en orden descendente tomando en cuenta el área total resultante de el método cartográfico por conglomerados. *Método cartográfico por conglomerados.

A diferencia del método areográfico, donde se presume que el punto de recolecta es el nodo central de la distribución, en el método cartográfico los puntos caen azarosamente dentro de los cuadros. Esta es una desventaja para el método areográfico, ya que invariablemente los puntos de recolecta estarán en el centro del círculo dibujado, y siempre cabe la posibilidad de ser un punto que represente el borde o el límite de la distribución de la población.

En el Cuadro 4 y la Figura 20 se puede observar que los métodos areográfico y cartográfico arrojan resultados muy elevados comparados con los obtenidos con el método cartográfico por conglomerados. Por lo tanto, los primeros resultados parecen poco convincentes.

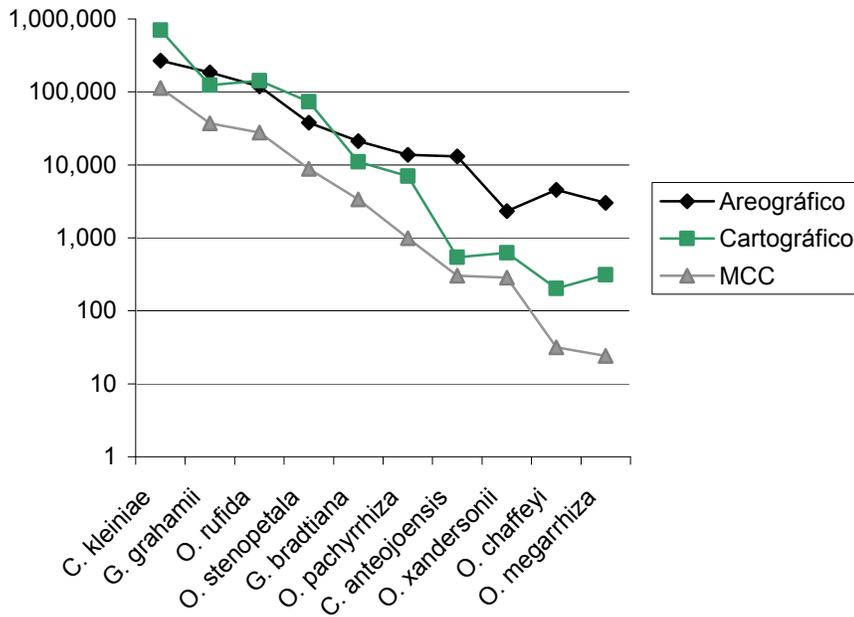


Figura 20. Representación de la tendencia que siguen los resultados de cada método. El tamaño de área de distribución está en escala logarítmica.

Y también destaca que con el método areográfico se obtienen resultados excesivamente grandes para las especies con distribuciones restringidas, ya que el método depende del promedio de las distancias entre los puntos y las sobrestimaciones son casos donde existen pocos registros muy distantes entre sí. Esta tendencia se mantiene en la regresión de la Figura 21 donde el método cartográfico por conglomerados se mantiene siempre por debajo de los métodos areográfico y cartográfico.

En términos generales, los resultados de este estudio muestran que los métodos areográfico y cartográfico tienden a elevar los tamaños de las áreas de distribución de las especies en plena coincidencia con la experiencia en campo de un experto en la familia (Hernández, com. pers.). El método cartográfico por conglomerados, en cambio, reduce las limitaciones de estos métodos. Este método toma en cuenta las disyunciones que existen en el área de distribución natural calculada con el método areográfico, pero finalmente calcula el área de cada conglomerado con la modificación de Willis *et al.* (2003) al método cartográfico. Al tomar en cuenta las disyunciones y evaluar cada conglomerado por separado (Cuadro 3) se elimina el sesgo que generan las distancias grandes

sobre el tamaño de cuadrícula en el método cartográfico. Estas discontinuidades en el área de distribución son consecuencia de barreras climáticas o geográficas que limitan la presencia de las especies.

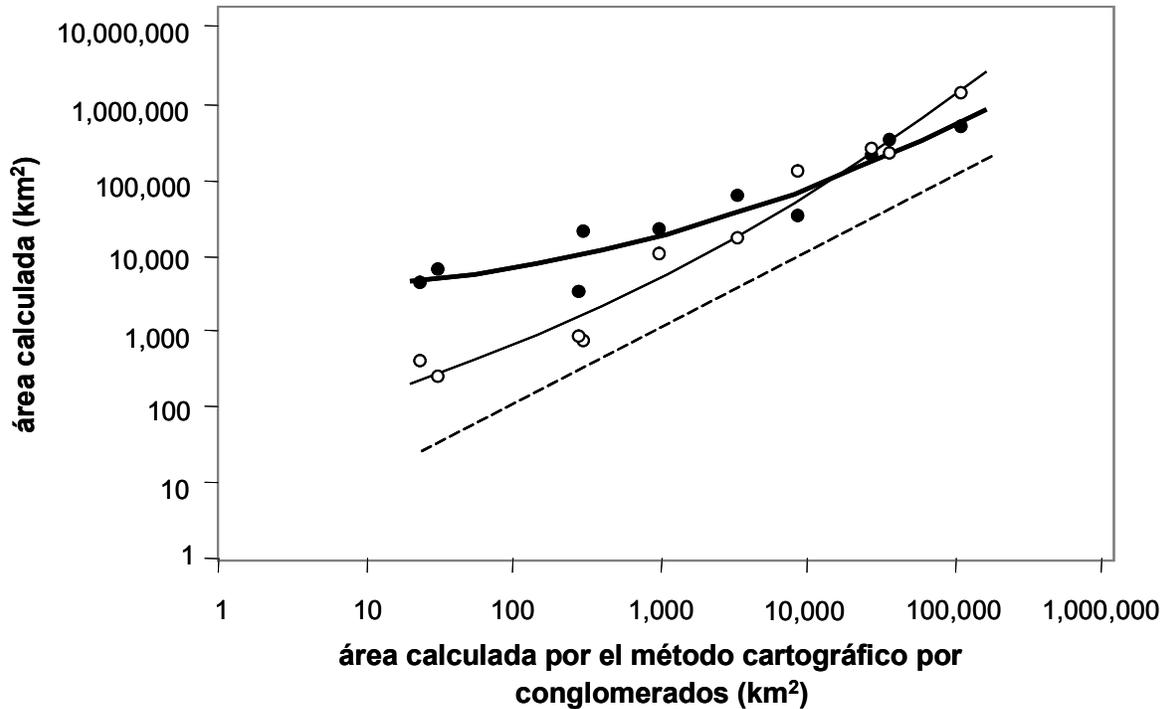


Figura 21. Regresión de los métodos empleados para su comparación respecto al método cartográfico por conglomerados. Los círculos blancos son datos de el método cartográfico, los círculos negros son datos del método areográfico. La línea punteada es la línea de tendencia correspondiente al método cartográfico por conglomerados. Los métodos son significativamente diferentes ($F= 32.809532$, $p=3.99657 \times 10^{-5}$), al igual que las ordenadas al origen ($F= 258.84994$, $p=7.19058 \times 10^{-11}$). Los datos fueron convertidos a logaritmo y posteriormente ajustados a una escala en km^2 ($R^2=0.95235052$).

Además con el método cartográfico por conglomerados se le otorga un menor valor a los puntos que se encuentran dispersos o aislados fuera de los conglomerados, considerándolos satélites. Estos satélites le agregan un valor constante (dependiendo de su número) al tamaño de área de distribución total obtenido, pero en el balance final no generan una diferencia significativa en los resultados.

Podemos concluir que los tres métodos enfrentan una seria desventaja, pues tienden a representar las áreas de distribución tomando en cuenta únicamente los registros de recolecta. Hay que tener muy presente que los datos obtenidos de coordenadas del herbario en la mayoría de los casos proveen una primera aproximación en el conocimiento de la distribución de la especie. Los esfuerzos de recolecta por lo general están sesgados hacia ciertas zonas cercanas a caminos y asentamientos de más fácil acceso.

En el siguiente apartado se hace una evaluación del estado de conservación de las especies estudiadas siguiendo los criterios propuestos por la UICN (IUCN/ Species Survival Commission, 2001). Es importante enfatizar que los datos del tamaño del área de distribución de las especies son centrales en estas evaluaciones.

CONSERVACIÓN

Tomando en consideración los resultados obtenidos con el método cartográfico por conglomerados, se realizaron las evaluaciones para determinar el estado de conservación de las diez especies empleadas de acuerdo con los criterios de la UICN.

ESPECIE	UICN (2001)	NOM-59	UICN. Nuevas evaluaciones con resultados obtenidos.	Claves de los criterios utilizados
<i>C. kleiniae</i>			Preocupación Menor (LC)	
<i>O. rufida</i>			Preocupación Menor (LC)	
<i>G. grahamii</i>			Preocupación Menor (LC)	
<i>O. stenopetala</i>			Preocupación Menor (LC)	
<i>G. bradtiana</i>			Preocupación Menor (LC)	
<i>O. pachyrrhiza</i>	Vulnerable (VU)		Vulnerable (VU)	B2 ab(iii)
<i>C. anteojoensis</i>		Protección especial (Pr)	En Peligro (EN)	B2 ab(iii)
<i>O. xandersonii</i>			Preocupación Menor (LC)	
<i>O. chaffeyi</i>	En Peligro Crítico (CR)		En Peligro Crítico (CR)	D; B2 ab(iii)
<i>O. megarrhiza</i>	En Peligro (EN)		En Peligro (EN)	B2 ab(iii)

Cuadro 5. Categorías de amenaza correspondientes a las especies analizadas en este estudio propuestas por organismos nacionales e internacionales y categorías de UICN (2001) tomando en cuenta los resultados obtenidos a partir del método de cartográfico por conglomerados.

Las especies que se analizaron en este estudio pertenecen a la subfamilia Opuntioideae, que en general no se asocia comúnmente a la amenaza de extinción debido a sus exitosas estrategias reproductivas. Es una subfamilia con pocas especies raras geográficamente; la mayoría tienen distribuciones amplias, abundancias elevadas, sus organismos son muy conspicuos y además dominan el paisaje en muchas regiones áridas y semiáridas del país. Aun con estas características biológicas, hay especies de la subfamilia que han sido evaluadas nacional e internacionalmente por los organismos competentes y que han alcanzado la entrada en alguna categoría de amenaza para su correspondiente protección. Como se muestra en el Cuadro 5, tres de las especies estudiadas (*O. pachyrrhiza*, *O. chafeyii* y *O. megarrhiza*) han sido evaluadas por la UICN y una (*C. anteojensis*) se encuentra bajo protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (2002).

Los tamaños de área de distribución obtenidos en este estudio con el método cartográfico por conglomerados fueron utilizados para evaluar por primera vez o para reevaluar el estado de conservación de las especies analizadas según criterios de la UICN. Para realizar la evaluación se tomó en cuenta principalmente el criterio B que es el de distribución geográfica; este es el que la mayoría de los investigadores utiliza por ser el más accesible y del cual existen más datos, ya que es muy difícil obtener información sobre el resto de los criterios.

Seis de las diez especies fueron evaluadas como de Preocupación Menor (LC). El resto de las especies (en total cuatro: *O. pachyrrhiza*, *O. chafeyii*, *C. anteojensis* y *O. megarrhiza*) sí alcanzaron la entrada en alguna categoría de amenaza según el criterio B que se complementó con los puntos “a” y “b”. El punto “a” se refiere al número de localidades y el punto “b” se refiere a una disminución en este caso elegimos b(iii), una disminución en área, extensión y/o calidad del hábitat. Esta disminución se deduce a partir de estar bien documentado que la principal causa que afecta el estado de conservación de las cactáceas es el desarrollo agrícola y la deforestación (Olfield, 1997).

Con las especies reevaluadas no hubo cambio de categoría y *C. anteojensis* obtuvo la categoría de En Peligro (EN) que no coincide con la

categoría otorgada por SEMARNAT(2002), Sujeta a Protección Especial, que es una categoría precautoria mientras se obtiene mayor información y puede corresponder a las categorías de menor riesgo dentro de la clasificación de la UICN.

La coincidencia entre las categorías obtenidas en las reevaluaciones hechas en este estudio y las evaluaciones realizadas por expertos indica que los resultados del método cartográfico por conglomerados son muy adecuados para categorizar el estado de conservación de las especies, particularmente en lo que se refiere al criterio B2.

REFERENCIAS:

- Anderson, E. F. 2001. *The Cactus Family*. Timber Press, Portland.
- Bárcenas, R. T. 2004. Systematics of *Grusonia* RCHB. ex Britton et Rose (*Opuntioideae* : *Cactaceae*). Ph. D. Thesis, School of Plant Sciences, University Reading, Inglaterra.
- Bojórquez L. A. y Villela O. A. 1991. Aspectos Legales y Metodológicos de la bioconservación en México. *Memorias del Seminario sobre Conservación de la Diversidad Biológica de México*. Vol II :1-23. UNAM-WWF, México.
- Bravo, H. 1978. *Las Cactáceas de México. Vol. I*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Bravo, H. 1995. *El interesante mundo de las Cactáceas*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Brown, J. H. y Lomolino M. V. 1998. *Biogeography*. 2ª edición, Sinauer Ass. Inc. Sunderland.
- CITES. 2002. Apéndices I, II y III. Washington, DC.
- Feinsinger, P. 2001. *Designing Field Studies for Biodiversity Conservation*, Island Press, Whashington, D.C.
- García, E. 1964. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen*. Ed. de la autora. México
- Gehlbach, F. R. 1993. *Mountains Islands and Desert Seas*. Texas A & M University Press.
- Gómez-Hinostrosa C. 1998. Diversidad, distribución y abundancia de cactáceas en la región de Mier y Noriega, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- GSPC. 2002. *Global Strategy for Plant Conservation*. Convention on Biological Diversity. Montreal, Quebec, Canadá.
- Henrickson J. y R.M. Straw. 1976. *A gazetteer of the Chihuahuan Desert Region. A supplement to the Chihuahuan Desert flora*. California State University, Los Angeles.
- Henrickson J. y M.C. Johnston. 1986. Vegetation and Community Types of the Chihuahuan Desert. Pp. 20-39 en J. C. Barlow, A. M. Powell y B. N. Timmermann

(eds.) *Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region, U.S and Mexico*. Sul Ross State University, Alpine, Texas.

- Hernández, H.M. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana* 26: 33-52
- Hernández, H.M., C. Gómez-Hinostrosa y R. T. Bárcenas. 2001a. Studies on Mexican *Cactaceae*. I. *Opuntia pachyrrhiza* (*Cactaceae*), a new species from the Chihuahuan Desert, Mexico. *Novon* 11: 309-314.
- Hernández, H.M., C. Gómez-Hinostrosa y R. T. Bárcenas. 2001b. Studies on Mexican *Cactaceae*. II. *Opuntia megarrhiza*, a poorly known endemic from San Luis Potosí, México. *Brittonia* 53: 528-533.
- Hernández, H.M., C. Gómez-Hinostrosa y R. T. Bárcenas. 2001c. Studies on Mexican *Cactaceae*. III. A new hybrid in the genus *Opuntia*. México. *Halsetonia* 9: 62-69.
- Hernández, H.M., C. Gómez-Hinostrosa y R. T. Bárcenas. 2001d. Diversity, spatial arrangement, and endemism of *Cactaceae* in the Huizache area, a hot-spot in the Chihuahuan Desert. *Biodiversity and Conservation* 10(7): 1097-1112.
- Hernández, H.M. y C. Gómez-Hinostrosa. 2005. Cactus Diversity and Endemism in the Chihuahuan Desert Region. Pp. 264-275 en J. Cartron, G. Ceballos y R. S. Felger (eds.), *Biodiversity, Ecosystem and Conservation in Northern Mexico*. Oxford, University Press.
- Hunt D. 1999. *CITES Cactaceae checklist*. Royal Botanic Gardens Kew- Internacional Organization for Succulent Plant, Inglaterra, 315 pp.
- IUCN/ World Commission on Protected Areas (WCPA). 2000. Evaluating effectiveness: a framework for assessing management of protected areas, by M. Hockings with S. Stolton and N. Dudley. *Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 6*. Cambridge, UK, WWF/IUCN Forest.
- IUCN. 2001. IUCN Red List Categories and Criteria Version: 3.1. IUCN. Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge.
- IUCN. 2004. IUCN Red list of threatened Species. En <http://www.redlist.org>. Consultado: junio 2004.
- Kleiman, D. G., M. E. Allen, K. V. Thompson y S. Lumpkin. 1996. *Wild animals in captivity: principles and techniques*, University of Chicago Press, Chicago.
- Medellín-Leal, F. 1982. The Chihuahuan Desert. Pp. 321-372 en G.L. Bender (ed.), *Reference handbook on the deserts of North America*. Greenwood Press, Westport.

- Meffe, G.K., y C. K. Carroll. 1997. *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland.
- Morafka, D. 1977. A biogeographical analysis of the Chihuahuan Desert through its herpetofauna. *Biogeographica* 9 :1-313.
- Mosiño, A. P. y García E. 1974. The climate of Mexico. Pp 4:345-404 en *Climates of North America* (R. A. Bryson y F. K. Hare, eds.), Vol. 11 de World survey of climatology (H. E. Landsberg, ed. en jefe) . Elsevier Scientific, Amsterdam, Netherlands.
- National Geographic. 2002. Trails Illustrated Map Big Bend, National Geographic Society, Colorado.
- Oldfield, Sara (comp.). 1997. *Cactus and Succulent Plants- Status Survey and conservation Action Plan*. IUCN/ SSC Cactus and Succulent Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Pinkava, D. J. 1976. A new species of cholla (*Cactaceae: Opuntia*) from Coahuila, México. *Madroño* 23 (5): 292-294.
- Primack, R. B., et al. 2002. *Essentials of Conservation Biology*, 3^a edición. Sinauer Press, Sunderland.
- Rand McNally. 2000. Texas State map, Rand MacNally, E.E. U.U.
- Rapoport, E. H. 1975. *Areografía: estrategias geográficas de las especies*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Rapoport, E. H. y J. A. Monjeau. 2001. *Aerografía*. Pp 23-30 en J. Llorente y J. Morrone (eds.) *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, Conceptos, Métodos y Aplicaciones*. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Robbins, Christopher S., ed. 2003. *Prickly Trade. Trade and Conservation of Chihuahuan Desert Cacti*, por Christopher S. Robbins y Rolando Tenoch Bárcenas Luna. TRAFFIC North America. Washington D.C.: World Wildlife Fund.
- Schmidt, R. H., Jr. 1979. A climatic delineation of the "real" Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 2:243-250.
- Schmidt, R. H., Jr. 1986. Chihuahuan Climate. Pp. 40-63 en J. C. Barlow, A. M. Powell y B. N. Timmermann (eds.), *Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region, U.S. and Mexico*. Sul Ross State University, Alpine, Texas.
- SCT. 1994. Mapa Turístico. Editorial Planeta.

- SEMARNAT, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-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.
- Shreve, F. 1942. The desert vegetation of North America. Bot. Rev. (Lancaster) 8: 195-246.
- Spellberg, I. F. 1992. *Evaluation and Assessment for Conservation*. Chapman Hall. London.
- Willis F., Moat J. y Paton A. 2003. Defining a role for herbarium data in Red List assessments: a case study of *Plectranthus* from eastern and southern tropical Africa. *Biodiversity and Conservation* 12: 1537-1552 .
- Zunino M. y Zullini A. 2003. *Biogeografía. La dimensión espacial de la evolución*. Fondo de Cultura Económica. México.

APÉNDICE

Crterios de la UICN (2001) para las categorías en Peligro Crítico, en Peligro y Vulnerable:

A. Una reducción del tamaño de la población

A1. Reducción observada, inferida o sospechada, en los últimos 10 años o tres generaciones, cuyas causas son reversibles, y son entendidas y han cesado.

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
≥ 90%	≥ 70%	≥50%

A2. Reducción observada, inferida o sospechada en los últimos 10 años o tres generaciones, cuyas causas puedan no haber cesado, o pueden no ser entendidas, o pueden no ser reversibles.

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
≥ 80%	≥ 50%	≥30%

A3. Reducción en la población que se proyecta o se sospecha que será alcanzada en lo próximos 10 años o tres generaciones.

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
≥ 80%	≥ 50%	≥30%

A4. Reducción observada, estimada, inferida, o sospechada en un período de 10 años o tres generaciones, donde el periodo de tiempo debe incluir el pasado y el futuro, y cuyas causas pueden no haber cesado, o pueden no ser entendidas, o pueden no ser reversibles.

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
≥ 80%	≥ 50%	≥30%

Los criterios del A1 al A4 deben estar basados en cualquiera de los siguientes:

- (a) observación directa
- (b) un índice de abundancia apropiado para el taxón
- (c) una reducción del área de ocupación, extensión de presencia y/o calidad del hábitat
- (d) niveles de explotación reales o potenciales
- (e) efectos de taxones introducidos, hibridación, patógenos, contaminantes, competidores o parásitos

B. Distribución geográfica

	En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
B1. Extensión de la presencia	< 100km ²	< 5,000km ²	< 20,000km ²
B2. Área de ocupación	< 10km ²	< 500 km ²	< 2,000km ²

Puede ser en la forma B1, B2 o ambas, las dos deben contar con estimaciones indicando por lo menos dos de los puntos a-c:

a. Severamente fragmentada o:

En Peligro Crítico- se conoce sólo una localidad.

En Peligro- se sabe que no existe en más de cinco localidades.

Vulnerable- no existe en más de 10 localidades.

b. Disminución continua, observada, inferida o proyectada, en cualquiera de las siguientes:

- (i) extensión de la presencia
- (ii) área de ocupación
- (iii) área, extensión y/o calidad del hábitat
- (iv) número de localidades o subpoblaciones
- (v) número de individuos maduros

c. Fluctuaciones extremas en cualquiera de las siguientes:

- (i) extensión de la presencia
- (ii) área de ocupación
- (iii) número de localidades o subpoblaciones
- (iv) número de individuos maduros

C. Número de individuos maduros estimados en menos de :

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
250*	2,500*	10,000*

Y ya sea:

1. Una disminución continua dentro de tres años o una generación de por los menos:

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
25%	20%	10%

o 2. Una disminución continua, observada, proyectada o inferida en el número de individuos maduros y al menos uno de los siguientes subcriterios (a-b):

a. Estructura poblacional en una de las siguientes formas:

(i) ninguna subpoblación estimada contiene más de:

En Peligro Crítico – 50*

En Peligro- 250*

Vulnerable- 1,000*

(ii) en una subpoblación se encuentra por lo menos el :

En Peligro Crítico – 90%*

* Individuos maduros

En Peligro- 95%*
Vulnerable – todos, 100% *

b. Fluctuaciones extremas en el número de individuos maduros.

D. Población muy pequeña o restringida

D1. Se estima que el tamaño de la población es menor de:

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
50*	250*	1000*

para la Categoría Vulnerable existe un segundo criterio:

D2. Población muy restringida en su área de ocupación (típicamente menor a 20 km²) o en el número de localidades (comúnmente 5 o menos) de tal manera que es propensa a los efectos de la actividad humana o a eventos fortuitos dentro de un período de tiempo muy corto en un futuro incierto, y es por consiguiente, capaz de cambiar a En peligro Crítico (CR) e inclusive a Extinta (EX) en un período de tiempo muy corto.

E. El análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado silvestre es de por lo menos :

En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
50% dentro de 10 años o tres generaciones	20% dentro de 20 años o cinco generaciones	10% dentro de 100 años

*Individuos maduros