

Informe final del Proyecto ES008
Distribución, estructura poblacional y utilización del saguaro (Carnegia gigantea (Engelm.)
Britt & Rose) en México

Responsable: Dr. José Alberto Búrquez Montijo
Institución: Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Ecología
Estación Regional Noroeste
Departamento de Ecología Funcional
Dirección: Blvd. Luis Donaldo Colosio s/n entre Sahuaripa y Madrid, Los Arcos,
Hermosillo, Son, 83250 , México
Correo electrónico: montijo@unam.mx
Teléfono/Fax: Tel: 01(662)13 9303 Tel/Fax: 01(662)17 5340
Fecha de inicio: Junio 31, 2006
Fecha de término: Octubre 9, 2009
Principales resultados: Informe final, Mapas, Hoja de cálculo.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Búrquez Montijo, J. A. 2009. Distribución, estructura poblacional y utilización del saguaro (Carnegia gigantea (Engelm.) Britt & Rose) en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. ES008.** México D.F.
Forma de citar Hoja de cálculo Búrquez Montijo, J. A. 2009. Distribución, estructura poblacional y utilización del saguaro (Carnegia gigantea (Engelm.) Britt & Rose) en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. **Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. ES008.** México D.F.

Resumen:

Este proyecto representa la primera fase de un estudio monográfico sobre la ecología del saguaro (Carnegia gigantea [Engelmann] Britton & Rose), una especie emblemática del Desierto Sonorense que está incluida en el Apéndice II de la CITES y que actualmente sufre de explotación de su madera para abastecer la demanda internacional. Esta primera parte incluye: 1) la recopilación bibliográfica extensiva y el análisis de esta información, 2) la elaboración de un mapa de distribución potencial utilizando técnicas de Algoritmos Genéticos para Producción de Reglas (GARP=Genetic Algorithm for Rule Set Production), 3) el trabajo de campo para validar el mapa producido con GARP, 4) la estimación de la estructura poblacional en términos de diferentes parámetros de tamaño de los individuos y de las poblaciones en localidades selectas en su ámbito de distribución, y 5) la ejecución de un programa de entrevistas y cuestionarios para evaluar al nivel local el tipo e intensidad de explotación de los productos de saguaro. La segunda fase (presentada en un documento separado) comprende la medición de tasas de crecimiento individual en poblaciones selectas, la estimación de la variabilidad y diferenciación fenotípica y genética a gran escala, la medición de los patrones fenológicos y de éxito reproductivo en un contexto espacial, la evaluación de la presencia de madera muerta de saguaro en la dinámica ecosistémica local, la continuación del programa de entrevistas y cuestionarios y el monitoreo a largo plazo del crecimiento y sobrevivencia de los individuos de cuatro poblaciones selectas distribuidas a lo largo de su ámbito de distribución.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Informe final

Distribución, Estructura Poblacional y Utilización del Sahuaro (*Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britt. & Rose) en México

Clave CONABIO ES008



Proyecto presentado a la Comisión Nacional para el
Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Responsable del proyecto:
Dr. Alberto Búrquez Montijo

Colaboradores:
M. en C. Enriquena Bustamante Ortega
Deneb Antonio Duarte Rodríguez
Belem González Grijalva
Ecol. Consuelo María Orozco Urias

Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, Unidad
Hermosillo, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 1354, Blvd. Colosio y Sahuaripa s/n
Hermosillo, Sonora 83250, México

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

- 1.1. Protección de flora y fauna: Las Cactáceas
- 1.2. Ecología de cactáceas columnares
- 1.3. Especie de estudio: *Carnegiea gigantea*
 - 1.3.1. Origen la palabra sahuaro y relaciones filogenéticos
 - 1.3.2. Descripción de la especie
 - 1.3.2. Usos y protección
- 1.4. Objetivos del proyecto

CAPITULO 2. DISTRIBUCIÓN DE *Carnegiea gigantea* BASADA EN GARP

CAPITULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE Y DEL ÁREA DE ESTUDIO

- 3.1. Descripción del sahuaro (*Carnegiea gigantea* [Engelm.] Britt & Rose)
- 3.2. Selección, localización y muestreo de los sitios de estudio
- 3.3. Clima
- 3.4. Correlaciones ambientales
- 3.5. Vegetación
- 3.6. Suelos
- 3.7. Metodologías específicas

CAPITULO 4. VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE SITIOS CON ALTAS DENSIDADES DE SAHUARO

- 4.1. Introducción
- 4.2. Metodología
- 4.3. Resultados

CAPITULO 5. VARIACIÓN GEOGRÁFICA EN LA ASOCIACIÓN ENTRE EL SAHUARO Y SUS PLANTAS NODRIZAS

- 5.1. Introducción
- 5.2. Objetivos
- 5.3. Metodología
- 5.4 Resultados
 - 5.4.1 Distribución de las plantas de sahuaro bajo las copas de árboles y arbustos
 - 5.4.2. Contrastes estadísticos para detectar el efecto nodriza usando las coberturas totales
 - 5.4.3. Contrastes estadísticos para detectar el efecto nodriza usando las coberturas de las especies bajo las cuales ocurre el mayor número de sahuaros
- 5.5. Discusión
- 5.6. Conclusiones

CAPITULO 6. VARIACIÓN MORFOLÓGICA

- 6.1. Metodología
 - 6.1.1. Muestreo en campo

- 6.1.2. Datos ambientales
- 6.1.3. Análisis estadísticos
- 6.2. Resultados
 - 6.2.1. Alometría de los caracteres morfológicos de tamaño, y número y tamaño de espinas y aréolas: Variación poblacional
 - 6.2.1.1. Correlaciones de los coeficientes alométricos con factores ambientales y espaciales
 - 6.2.2. Características morfológicas de los individuos adultos
 - 6.2.2.1. Tamaño
 - 6.2.2.2. Costillas
 - 6.2.2.3. Espinas y aréolas
 - 6.2.3. Correlaciones entre características morfológicas de los individuos adultos
 - 6.2.3.1. Tamaño
 - 6.2.3.2. Costillas, espinas y aréolas
 - 6.2.4. Correlaciones de la morfología de los individuos adultos con factores ambientales

CAPITULO 7. ESTRUCTURA DE TAMAÑOS Y EDADES EN POBLACIONES DE SAHUARO

- 7.1. Introducción
 - 7.1.1. Historia de Vida
 - 7.1.2. Ecología del sahuaro
- 7.2. Objetivos
- 7.3. Materiales y métodos
 - 7.3.1. Muestreo de las poblaciones
 - 7.3.2. Distribución y densidad
 - 7.3.3. Estructura poblacional
 - 7.3.4. Determinación de la edad de los sahuaros
 - 7.3.5. Área basal
 - 7.3.6. Plantas nodrizas
- 7.4. Resultados
 - 7.4.1. Densidad y distribución de los individuos
 - 7.4.2. Estimaciones de área basal y densidad poblacional con la muestra total de individuos y con el método del relascopio de Bitterlich
 - 7.4.3. Estructura poblacional de tamaños
 - 7.4.4. Estructura poblacional de edades

CAPÍTULO 8. DISCUSIÓN GENERAL: El Telón de Fondo Ecológico

CAPITULO 9. ENTREVISTAS Y TAMAÑOS MÍNIMOS APROVECHABLES

- 9.1. Percepción de la situación actual y pasada respecto a la cosecha y uso de varas de sahuaro
- 9.2. Determinación del tamaño mínimo de los individuos productores de varas comerciales

CAPITULO 10. MODELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PRESENTE Y FUTURA DE VARAS DE SAHUARO

- 10.1. Densidad promedio de individuos vivos y muertos
- 10.2. ¿Cuántas varas hay por hectárea en este momento?

10.3. Escenarios futuros: proyecciones a 50 años

CAPITULO 11. INTEGRANDO EL CONTEXTO ECOLÓGICO, SOCIAL Y ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE VARAS DE SAHUARO

11.1. Características de las varas de sahuaro: equivalencias de número, masa y volumen

11.1.1. Metodología

11.1.2. Resultados

11.2. Comportamiento histórico del comercio

11.2.1. El comercio ilegal

11.2.2. El comercio legal y las contradicciones entre los datos de comercio reportados por diferentes agencias

11.2.3. ¿Cuántas hectáreas de sahuarales de alta densidad se requerirían para satisfacer la cuota de exportación 1994-2005?

CAPITULO 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

LITERATURA CITADA

APÉNDICES

Apéndice I. Información adicional de algunas de las entrevistas más relevantes.

Apéndice II. Bibliografía extendida

Apéndice III. Anexo Fotográfico

Apéndice IV. Bases de datos

Apéndice V. Presentación -International Expert Workshop on CITES Non-Detriment Findings

Apéndice VI. Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres de México (MER)

RESUMEN

Este proyecto representa la primera fase de un estudio monográfico sobre la ecología del sahuaro, una especie emblemática del Desierto Sonorense que está incluida en el Apéndice II de la CITES y que actualmente sufre de explotación de su madera para abastecer la demanda internacional, reducciones en sus poblaciones por desmontes para el establecimiento de praderas para el ganado e influencia del cambio rural a urbano y suburbano. Se estudiaron 14 poblaciones de *Carnegiea gigantea* (sahuaro) distribuidas en todo su rango de distribución en México, además de 2 poblaciones en Arizona, EUA. En cada una de las poblaciones se midieron en al menos cien individuos la estructura poblacional y su variación espacial, así como la variación morfológica en caracteres vegetativos. Además, se obtuvo la densidad de individuos por hectárea tanto de individuos vivos como muertos, y se hizo una caracterización de la estructura de la comunidad. Con los datos de individuos muertos se estimó la cantidad de varas que potencialmente podría cosecharse en cada uno de los sitios. En las áreas donde existe o ha habido cosecha, utilización y comercialización de varas de sahuaro se realizaron entrevistas para obtener información indicativa del tipo y nivel de uso del sitio en general y de la especie. El trabajo de campo sirvió también para validar el mapa de distribución potencial de sahuaro producido con GARP por personal de la CONABIO. Los principales resultados incluyen evidencia de diferenciación poblacional en diferentes características de forma y tamaño, tanto en los valores absolutos del tamaño, número y forma de las costillas y en la forma de espinas y areólas, como en los coeficientes alométricos de desarrollo ontogenético de estas características. A nivel poblacional se detectó la ausencia de una estructura estable de edades ya que dominan los procesos de reclutamiento episódico en todas las poblaciones estudiadas y una gran variación entre poblaciones en la periodicidad del reclutamiento. Respecto al aprovechamiento de las varas de sahuaro, se encontró que el tamaño mínimo aprovechable, de acuerdo a la demanda de los mercados locales e internacionales, era de individuos de 6 o más m de altura: un tamaño ausente en algunas poblaciones y muy escaso en el resto de las poblaciones estudiadas. Finalmente, en algunas regiones se detectó un importante tráfico clandestino de madera de sahuaro, tanto para uso local, como para su exportación. Esta demanda se origina en el alto valor que reciben las varas, especialmente en el mercado internacional donde un mazo de 50 varas de 1.83

m puede cotizarse en mas de \$50.00 dólares americanos. En la mayoría de las poblaciones se encontró que gran parte de las varas muertas de sahuaro ya han sido cosechadas, no sólo porque no se encontraron individuos muertos sino que queda la evidencia de tocones. Este dato, contrasta con la densidad de varas muertas en poblaciones donde no es posible el acceso como en el Cráter MacDougal en la Reserva de la Biosfera de El Pinacate y Gran Desierto de Altar. En algunas poblaciones, como en Rancho Lobos (donde se han otorgado permisos de colecta en el pasado), se encontró evidencia directa de cosecha de individuos vivos ya que se detectaron individuos cinchados. En otras poblaciones, como Cucurpe, Sáric, La Primavera y el mismo Rancho Lobos, se detectó un marcado déficit de individuos grandes que sugiere cosecha de individuos vivos. Un ejercicio de proyección futura de producción de vara comercial para los próximos 50 años revela que las poblaciones están actualmente sometidas a una intensa cosecha. En algunas poblaciones se observa un lento crecimiento del “stock” de varas con diferentes tasas y tiempos de recambio, en algunos casos a más de 50 años. Dada la presión que ejerce la cosecha clandestina, la lenta tasa de ingreso de individuos cosechables por mortalidad, la escasez de individuos grandes porque las poblaciones presentan curvas de sobrevivencia tipo III y la sugerente diferenciación en ecotipos locales, se recomienda mantener a esta especie protegida en el Apéndice II de CITES y considerar su inclusión en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 bajo la categoría de sujeta a protección especial.

INTRODUCCIÓN

El sahuaro (*Carnegiea gigantea* [Engelmann] Britton & Rose) es una cactácea columnar del Desierto Sonorense que puede alcanzar los 16 m de altura y vivir más de 175 años. Su recambio poblacional es muy lento y su reclutamiento está determinado por procesos cíclicos de cambio a muy largo plazo que incluyen la presencia de plantas nodrizas y la acumulación de eventos de años con lluvias extraordinarias. Los usos del sahuaro, son muy variados, destacando entre estos la colecta anual de los frutos por grupos indígenas y la utilización de las costillas leñosas de los individuos secos (varas) para la construcción de casas y muebles.

La demanda de varas de sahuaro ha creado un importante mercado internacional, por lo cual los Estados Unidos han aprobado decretos estatales y federales que prohíben el comercio de sahuaros silvestres de ese país. Esto ha dado por resultado que las únicas poblaciones que se están comercializando actualmente sean las que se encuentran en el noroeste de Sonora, México. Por lo anterior, y tomando en consideración los altos índices de comercio de varas del sahuaro, se considera conveniente y estratégico evaluar el estado actual de conservación y la pertinencia de someter la especie a regímenes de aprovechamiento no perjudicial, de tal manera que se garantice que no sea afectada su supervivencia.

Carnegiea gigantea está enlistada en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés), lo cual significa que el comercio internacional de plantas, partes y derivados, está regulado por medio de los permisos CITES. De acuerdo con la normatividad de la CITES estos permisos deben expedirse solamente con base en la evaluación de su aprovechamiento forestal, mediante el cual se asegura que la extracción de esta especie del medio silvestre, no afecta la estabilidad de sus poblaciones. En otras palabras, se requiere que las autoridades científicas avalen los niveles de exportación adecuados que garanticen la conservación y uso sostenible de las poblaciones de esta especie.

La información disponible sobre la situación de las poblaciones de sahuaro en México y el impacto que el comercio internacional ha tenido y está teniendo en ellas, es contrastante y no está actualizada, resultando imposible definir las medidas necesarias para regular su aprovechamiento. Por lo tanto, es necesario generar información científica rigurosa que permita, a corto plazo, contar con evidencias claras y

fundamentadas sobre el estado de las poblaciones de *C. gigantea*. Este proyecto representa la primera fase de un estudio monográfico sobre la ecología del sahuaro que incluye: 1) la recopilación bibliográfica extensiva y el análisis de esta información, 2) la elaboración de un mapa de distribución potencial utilizando técnicas de Algoritmos Genéticos para Producción de Reglas (GARP=Genetic Algorithm for Rule Set Production), 3) el trabajo de campo para validar el mapa producido con GARP, 4) el estudio de la variación geográfica en la morfológica y sus relaciones alométricas, 5) la estimación de la estructura poblacional en términos de diferentes parámetros de tamaño de los individuos y de las poblaciones en localidades selectas en su ámbito de distribución, y 6) la ejecución de un programa de entrevistas y cuestionarios para evaluar al nivel local el tipo e intensidad de explotación de los productos de sahuaro.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. Protección de flora y fauna: las cactáceas

México es el país más diverso en lo que respecta a cactáceas. De las aproximadamente 1500 especies descritas, cerca de 600 se encuentran en México, y de éstas aproximadamente el 78% son endémicas (Hernández y Godínez, 1994). La mayor parte de las especies habitan regiones áridas y semiáridas del país. Estas incluyen al Desierto Chihuahuense, al Desierto Sonorense, la zona árida Queretano-Hidalguense, el Valle de Tehuacan-Cuicatlán, la Depresión del Balsas, la región más seca de la Península de Yucatán y la costa del Pacífico en el Istmo de Tehuantepec (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995).

Las cactáceas se encuentran entre los grupos de plantas más amenazados. La familia completa está incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés; Hunt, 1999), además de incluirse varias de éstas en el Apéndice I, y en el listado de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN). Entre las principales presiones que han afectado su estatus de conservación, y que han ocasionado su inclusión en estos listados, se encuentran la colecta y comercio ilegal de ejemplares tanto en mercados nacionales como internacionales, así como, la destrucción de su hábitat y cambio de uso de suelo, principalmente en países en vías de desarrollo (Sánchez-Mejorada, 1982; Oldfield, 1997). Aunado a esto, se suman los atributos biológicos y ecológicos de las cactáceas, tales como la habilidad limitada para restablecerse demográficamente después de un evento de perturbación dado sus tasas de crecimiento lento y su alta vulnerabilidad en los estadios tempranos de desarrollo (Hernández y Godínez, 1994). En consecuencia, un número significativo de cactáceas mexicanas se ha incluido en listados de plantas amenazadas. En la actualidad se consideran a 197 especies de cactáceas mexicanas bajo esta categoría, las cuales representan el 35% de todas las especies de cactáceas conocidas para el país (Hernández y Godínez, 1994).

En este sentido, obtener información actualizada sobre la biología, la distribución y abundancia, el impacto del comercio y el estatus de riesgo de las especies incluidas en los Apéndices de la Convención o aquéllas que están sujetas a comercio internacional,

resulta de gran importancia para generar información que permita evaluar la conveniencia de mantener, modificar o eliminar de los apéndices a una determinada especie; así como, para evaluar el funcionamiento y resultados de los programas de manejo y de aprovechamiento de las especies, a partir de los cuales se pueden hacer las adecuaciones necesarias para asegurar que su aprovechamiento y comercio se mantengan a niveles sostenibles.

Un grupo de cactáceas que se ha distinguido por su forma de crecimiento que asemeja una columna, son las denominadas columnares. Las cactáceas columnares proveen de grandes cantidades de recursos florales y de frutos que mantienen altas densidades de murciélagos, aves e insectos que hacen uso del néctar, polen y frutos como alimento. También sirven de refugio a muchos animales que hacen uso de su sombra y sus ramas. Todas estas interacciones positivas contribuyen al mantenimiento de las especies y promueven la diversidad de los ecosistemas áridos del país. Las cactáceas columnares también son importantes en términos económicos y representan una base importante en la cultura de los grupos indígenas del México árido, donde son y han sido utilizados de diferentes maneras, ya sea en juegos, en medicina, en construcción o como alimento (Bravo-Hollis, 1978; Felger y Moser, 1985; Yetman, 1998; Casas *et al.*, 1999, 2001; Yetman y Van Devender, 2002). Por su morfología, usos y valor cultural, las cactáceas columnares representan un enlace muy importante entre el hombre y su entorno. Es por ello que su estudio combina la búsqueda etnográfica, el conocimiento ecológico básico, el manejo de comunidades naturales por el hombre, los procesos de degradación ambiental y la restauración ecológica. Considerando la importancia económica, cultural y ecológica de las cactáceas columnares, conocer los factores que controlan la distribución y abundancia de estas especies en las zonas áridas y semiáridas debe ser uno de los principales objetivos de investigación. La información existente sugiere que numerosos aspectos necesitan ser considerados para tener un mejor entendimiento de cómo conservar y manejar este prominente grupo de cactáceas.

1.2. Ecología de cactáceas columnares

La dinámica poblacional de muchas especies de cactáceas columnares esta fuertemente relacionada con interacciones ecológicas tanto de animales como de plantas y a nivel geográfico los factores abióticos juegan también un papel importante, que hace que varíen las características interpoblacionales e intrapoblacionales.

En un contexto geográfico, la variabilidad climática (principalmente en términos de precipitación) se ha relacionado como el mayor factor que causa el reclutamiento episódico en plantas leñosas de ambientes áridos incluyendo a cactáceas, y como resultado se asume que la estructura de edades de una población refleja los años o periodos favorables para el establecimiento de individuos (Brum 1973; Steenbergh y Lowe 1977; Jordan y Nobel 1979, 1981, 1982; Turner 1990; Parker 1993; Bowers 1997; Pierson y Turner 1998; Swetnam y Betancourt 1998). Sin embargo, a escala local la dinámica poblacional de las especies, se encuentra además fuertemente asociada a factores bióticos que incluyen procesos de competencia interespecifica e intraespecifica. Por lo anterior, se ha propuesto que el estudio de varias poblaciones puede mostrar mejor los efectos combinados del ambiente biótico y físico, y el estudio de una población local destaca los efectos de las interacciones ecológicas con otras especies (Bowers y Turner, 2002).

En el caso de las cactáceas columnares, es importante considerar los aspectos del ciclo de vida que pueden ser críticos para el mantenimiento de sus poblaciones. La germinación y establecimiento son etapas críticas en la dinámica poblacional de los cactus columnares (Turner *et al.*, 1966; Steenbergh y Lowe, 1969; Hutto *et al.*, 1986; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Godínez-Álvarez *et al.*, 1999). La germinación ocurre bajo ciertas condiciones adecuadas de humedad (Gibson y Nobel, 1986; Dubrovsky, 1996, 1998), radiación solar y temperatura (Gibson y Nobel, 1986; Nolasco *et al.*, 1997), por lo que la presencia de plantas nodrizas o rocas que ofrecen un nicho hábitat adecuado para la germinación y establecimiento es sumamente importante (Turner *et al.*, 1966; Steenbergh y Lowe, 1977; Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Valiente-Banuet *et al.*, 1991; Nolasco *et al.*, 1997). Así mismo, como ya se menciono anteriormente, se ha determinado que el establecimiento de cactáceas columnares es episódico, asociándolo principalmente con el régimen de lluvias de los lugares en donde habitan (Steenbergh y Lowe, 1977; Jordan y Nobel, 1982; Pierson y Turner, 1988; Parker, 1993). Además, las cactáceas columnares tienen tasas de crecimiento muy bajas y ciclos de vida muy largos (Gibson y Nobel, 1986). En *Carnegiea gigantea* los individuos juveniles crecen más rápido que los adultos (Turner, 1990), disminuyendo hasta en un 50% su potencial de crecimiento cuando inician la reproducción (Steenbergh y Lowe, 1977), y lo mismo sucede en *Stenocereus thurberi* y *Pachycereus schottii* (Parker, 1988).

Otras etapas importantes en la dinámica poblacional de las cactáceas columnares son la polinización y dispersión, ambos factores fuertemente asociados a animales (Gibson y Nobel, 1986; Valiente-Banuet *et al.*, 1996). En Norteamérica, la gran mayoría de las cactáceas columnares son polinizadas por diferentes especies de murciélagos y aves (Fleming *et al.*, 1996, 2001; Valiente-Banuet, *et al.*, 1996). En el centro de México los murciélagos son los polinizadores más importantes (Valiente-Banuet, *et al.*, 1996), mientras que en el extremo de distribución de las cactáceas columnares, en el Noroeste de México, además de los murciélagos, las aves juegan un importante papel en la polinización. Tal es el caso de *Carnegiea gigantea*, *Stenocereus thurberi* y *Pachycereus pringlei* (Fleming *et al.*, 1996, 2001). Otras especies como *Pachycereus schottii* pueden tener relaciones planta-polinizador muy estrictas (Holland y Fleming, 1999).

Además de la polinización, se sabe que en la dispersión de semillas participan tanto murciélagos como aves, lo que nos muestra que la interacción planta-animal tiene un papel importante en la permanencia de sus poblaciones (Valiente-Banuet *et al.*, 1996). Como se ha visto en algunas cactáceas, la dispersión por animales aumenta la variabilidad genética local a través del reclutamiento de genets que vienen de distintas poblaciones, reduciéndose la probabilidad de endogamia y extinción local (Mandujano *et al.*, 1997, Fleming *et al.*, 1998). Asimismo, sus particulares patrones de distribución geográfica representan un enorme riesgo de supervivencia a cualquier forma de perturbación local, ya que muchas cactáceas ocupan áreas de distribución extremadamente restringidas y en ocasiones viven en condiciones edáficas muy especializadas (Hernandez y Godínez, 1994).

1.3. Especie de estudio: *Carnegiea gigantea*

1.3.1. Origen de la palabra sahuaro y relaciones filogenéticas

La palabra sahuaro deriva del vocablo Cahita “sahuo” que quiere decir órgano, cactus columnar (Sobarzo, 1991). El Cahita es una lengua hablada ampliamente en Sonora por los Yaqui y los Mayo de la cual se derivan muchos nombres regionales de lugares, plantas y animales. La palabra sahuaro tiene un gran número de variantes; desde sawuaro hasta saguaro pasando por zaguaro, zahuara, suaro, etc. Comparte la misma raíz con sahueso, la palabra que describe otra cactácea columnar de Sonora y Baja California llamada *Pachycereus pringlei*.

El vocablo sahuaro representa un accidente de la conquista y colonización española ya que es probable que se nombrara a la planta con la palabra usada por los grupos con

mayor contacto con los españoles durante la conquista y no por aquellos indígenas que tenían al sahuaro como elemento central de su cultura: los Pimas Altos. Tan importante era el sahuaro para los Pimas del norte que su año nuevo iniciaba con la cosecha de los frutos y el primer mes se denominaba *haashañ bahidagh mashad* (Luna de la cosecha del sahuaro, Rea, 1997).

Ruth Underhill, y posteriormente Amadeo M. Rea (1997) hacen un extraordinario recuento de la importancia de los saguaros, *haashañ*, para los Pimas: desde la relevancia sagrada y religiosa, hasta los numerosos usos de cada una de sus partes. Importancia que se refleja en los nombres específicos de los elementos del sahuaro que suman cientos de palabras, por ejemplo, las ramas son llamadas *mamadag*, los frutos verdes *haashañ iibdag*, el fruto maduro aún en la planta *bahi* o *bahidaj*, los frutos maduros cuando caen al suelo *gakidaj*. Se refieren al *ia* cuando los tomas del *bahidaj* aún jugosos para comer, y *haashañ gakidag* cuando están secos y muy dulces y recoges la pulpa para hacer una bola que se guarda para comer después. Quizá en una justa reivindicación romántica e idealista deberíamos llamar *haashañ* al sahuaro en castellano.

La forma más utilizada en inglés es “saguaro”. Sin embargo, atendiendo la regla gramatical “Se escriben con h intermedia las palabras que presentan tres vocales contiguas, de las cuales la segunda y la tercera forman un diptongo con u inicial”, la forma correcta en Español debe de ser sahuaro.

El nombre, se refiere a la planta que conocemos como *Carnegiea gigantea*. Esta especie es uno de los miembros más grandes de la familia de las cactáceas y se caracteriza por su tallo elongado en forma de columna, una característica que comparte con muchos otros miembros de la tribu Pachycereeae. Originalmente fue descrito por Engelmann en 1852 como *Cereus giganteus*, y posteriormente fue transferido al género monotípico *Carnegiea* por Britton y Rose en 1908. Estudios de la morfología, la química de alcaloides y secuencias de ADN de cloroplastos apoyan su permanencia como un género aparte con una relación filogenética distante con las diversas especies de *Neobuxbaumia* y *Pachycereus*, (Gibson y Horak, 1978; Wallace y Gibson 2002). Es posible que una vez que se realicen estudios más extensos de relaciones filogenéticas en las cactáceas columnares de Norte América, algunas especies de los géneros antes mencionados sean transferidos al género *Carnegiea* (Parfitt y Gibson, 2004).

1.3.2. Descripción de la especie

El sahuaro (*Carnegiea gigantea* [Engelmann] Britton & Rose) es una de las cactáceas columnares de más amplia distribución en la porción continental del Desierto Sonorense (Shreve y Wiggins, 1964). Es parte de un grupo de cactáceas tropicales que alcanzan formas columnares masivas. Es común encontrarlo formando extensos bosques que dominan el paisaje. Se le encuentra desde las inmediaciones de Phoenix, Arizona en el norte, a la porción sudoriental de California, con un límite meridional 30 km al sur de la población de Navjoa, Sonora (Turner *et al.*, 1995). Su ámbito general de distribución ocupa un área de más de cien mil km², aunque los sitios con poblaciones de esta especie están restringidos por diversos factores que incluyen variables de habitat, de biología reproductiva y de dispersión (Turner *et al.*, 1995) por lo que se desconoce la extensión y el grado de aislamiento que presentan aquellas poblaciones con densidades inferiores al mínimo necesario para mantenerse localmente.

Los sahuaros presentan adaptaciones a la sequía y son intolerantes a las heladas por lo que su límite de distribución hacia el norte se define por la línea de heladas recurrentes (Steenbergh y Lowe, 1977), mientras que en el sur y en las montañas al este del Desierto Sonorense, parece ser desplazado competitivamente por otras especies en un ambiente más húmedo.

Los sahuaros pueden vivir más de 175 años, siendo el recambio poblacional muy lento. Los primeros estudios sobre el crecimiento del sahuaro fueron llevados a cabo por Shreve (1910) quien correlacionó la estatura de los sahuaros con su edad. Datos más finos que los obtenidos por Shreve, indican que la máxima tasa de crecimiento se presenta en individuos entre 1.2 y 2.5 m de altura (Hastings y Alcorn, 1961; Steenbergh y Lowe, 1977). La madurez reproductiva se alcanza a estaturas entre 2 y 3 m, que representan edades entre los 30 y 40 años (Steenbergh y Lowe, 1977). La disminución de la tasa de crecimiento a partir de esta edad se debe a que gran parte de la energía (hasta un 50%) se asigna a eventos reproductivos. Incorporando variables de sitio, Drezner (2003) mostró que pueden realizarse estimaciones precisas de edad basadas en tamaños en poblaciones en diferentes localidades.

Las poblaciones de sahuaro muestran curvas de sobrevivencia tipo II o III, en este último caso con una gran mortalidad en las clases de edad más jóvenes (Steenbergh y Lowe, 1969). Debido probablemente a la introducción de ganado en forma extensiva desde principios de siglo, las curvas de sobrevivencia en terrenos rocosos y con pendientes pronunciadas son mucho mayores que en habitats planos (Steenbergh y

Lowe, 1969). Sin embargo, en áreas no pastoreadas es común encontrar que la densidad de sahuaros es mucho mayor en las planicies que en las pendientes. El reclutamiento de plántulas se da a la sombra de perennes arbóreas o arborescentes que producen "islas" donde el ambiente físico y biológico es más benigno (Turner *et al.*, 1969; Valiente y Ezcurra, 1991; Búrquez y Quintana, 1994; Petrovich y Tewksbury, 1994; Nabhan y Suzan, 1994). Para conocer las causas de la elevada mortalidad juvenil en sahuaros, Raymond Turner y asociados (1969) realizaron un experimento en el Sahuaro National Monument en las cercanías de Tucson, Arizona. El experimento consistió en el transplante de 1600 plántulas de 2 años de edad. 800 plántulas se aislaron con mallas que impedían el paso de roedores y como control se utilizaron 800 plántulas descubiertas. Todas las plántulas no protegidas murieron antes de un año, mientras que casi el 2% del total de plantas protegidas aún sobrevivían 10 años después. Resultados similares se han obtenido para otras localidades y otras especies (Sosa y Fleming, 2002).

1.3.3. Usos y protección

Los usos del sahuaro son muy variados, destacando entre estos la actividad realizada por grupos indígenas de colecta anual de los deliciosos frutos y la utilización de las costillas leñosas de los sahuaros secos para la construcción de casas y muebles (Lumholtz 1912, Crosswhite 1980, Felger y Moser 1985, Nabhan 1985, ver también Fontana 1980). Recientemente, ha surgido en los Estados Unidos el interés por la utilización de las costillas de sahuaro con fines decorativos. Los usos que demanda este mercado son principalmente para la construcción de recubrimientos interiores para techos y para muebles. Esto ha creado un gran mercado para este material, a tal grado que en muchas áreas del Desierto Sonorense al norte de la frontera Mexicana se han agotado las reservas de sahuaro seco (Richard Felger com. pers.). En México, las poblaciones donde se lleva a cabo la colecta de costillas de sahuaro con fines comerciales se localizan principalmente en el noroeste de Sonora. Casi la totalidad de la cosecha comercial se dedica al mercado de exportación a los Estados Unidos o a construcciones rústicas locales (Alberto Búrquez y colaboradores, no publicado). La demanda de varas de sahuaro ha creado un importante mercado internacional, por lo cual los Estados Unidos de América han aprobado decretos estatales y federales que prohíben el comercio de sahuaros silvestres de ese país. Esto ha dado como resultado que las únicas poblaciones que se están comercializando actualmente sean las que se

encuentran en el noroeste de México. Derivado de lo anterior, en México se ha permitido el aprovechamiento del sahuaro desde principios de los 90s, a través de permisos que expide la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Delegación Federal en Sonora y la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS). Los productos de estos aprovechamientos han sido destinados al mercado internacional, en particular a los Estados Unidos, a donde se han exportado grandes cantidades de varas secas durante los últimos diez años. Tomando en consideración que, la única fuente de varas de sahuaro proviene de las poblaciones naturales mexicanas, existe una preocupación de México como exportador y de los Estados Unidos, como principal importador, sobre la situación poblacional de esta especie. Esta preocupación ha sido expresada y discutida en varias reuniones del Comité de Flora de la CITES quien ha propuesto en dos ocasiones someter a la especie a un proceso de “comercio significativo” que puede derivar en una suspensión del comercio internacional bajo el supuesto de que su aprovechamiento no es sostenible. Si bien, la Delegamex logró eliminarlas del proceso, es claro que existe una preocupación por el estado de conservación del sahuaro en el medio silvestre y la amenaza de una suspensión comercial sigue latente.

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. Objetivo general

Obtener información sobre la distribución, abundancia y el estado de conservación de las poblaciones de sahuaro en sitios conservados y sujetos a manejo para evaluar el aprovechamiento de la especie y hacer recomendaciones que aseguren su conservación y aprovechamiento sostenible. Así como generar información sobre su estructura y dinámica poblacional que nos permita evaluar la conveniencia de mantener o modificar de los Apéndices del CITES a esta especie; además de plantear algunas estrategias para su manejo y aprovechamiento.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el estado del conocimiento sobre la ecología del sahuaro.
2. Elaborar un mapa de distribución potencial basado en el punto 1 utilizando Algoritmos Genéticos para Producción de Reglas.
3. Proponer una metodología para evaluar la variación espacial dentro y entre poblaciones de la estructura y dinámica ecológica de las poblaciones vivas de sahuaro;

incluyendo la estructura de tamaños, las tasas de crecimiento individual y poblacional, y eventualmente la estructura de edades.

4. Estimar la estructura de tamaños de los individuos muertos en pié para estimar la cosecha en pié de madera en rollo para su aprovechamiento en una región particular.
5. Reconocer la percepción regional sobre el tipo e intensidad de explotación de los productos de sahuaro, especialmente de varas secas provenientes de individuos muertos y determinar su localización,
6. Hacer un diagnóstico preliminar del estado de conservación y riesgo de la especie.
7. Definir, de manera preliminar, el tipo de aprovechamiento que puede realizarse y los parámetros necesarios que es necesario reconocer para definir el aprovechamiento.

CAPÍTULO 2

DISTRIBUCIÓN DE *Carnegieia gigantea* BASADA EN GARP (en colaboración con personal de CONABIO, especialmente Jesús Alarcón Guerrero y Alejandra García Naranjo).

2.1. Distribución potencial de *Carnegieia gigantea*

Personal de CONABIO generó un modelo de distribución de *Carnegieia gigantea* empleando un método de algoritmos genéticos GARP (Genetic Algorithm for Rule–Set Prediction) y utilizando las bases de datos de distribución que se generaron en este proyecto como material base para la distribución actual. En el análisis se generalizó la información ambiental de los sitios de distribución actual o histórica para obtener regiones con alta similitud ambiental que indican el potencial de presencia de esta especie (Stockwell y Noble, 1992; Stockwell y Peters, 1999; Stockwell y Peterson, 2002).

Para obtener la distribución potencial de la especie se elaboró una base de datos que incorporó información topográfica, climática y de suelos y vegetación, así como la localización geográfica de distribución del sahuaro publicada, disponible en bases de datos públicas en internet, derivada de la consulta de los registros en el Herbario Nacional (MEXU), el Herbario de la Universidad de Sonora (USON), y el Herbario de la Universidad de Arizona (ARIZ), además de incorporar la información disponible en el Sistema Nacional de Información Biológica (SNIB) y en la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB). De igual manera, se añadieron todas las localidades que este grupo de trabajo generó como parte de esta primera parte del proyecto. En total se utilizaron 953 puntos de colecta o avistamientos para modelar la distribución potencial a nivel mundial y en América del Norte. Para México la muestra se redujo a 276, eliminando todos aquellos que no estuvieran situados en territorio nacional y estuvieran repetidos.

Los datos climáticos fueron obtenidos de la base de datos WorldClim disponible en la red en la siguiente pagina: <http://www.worldclim.org/>. WorldClim es un conjunto de coberturas climáticas con una resolución espacial de un kilómetro cuadrado aproximadamente, las cuales pueden ser utilizadas para cartografiar o modelar en un

Sistema de Información Geográfica (SIG) u otro tipo de programa para computadora. Para una descripción completa de los métodos utilizados para la creación de dichas coberturas vea el trabajo de Hijmans y colaboradores (2005). Las coberturas incluidas para la creación del GARP incluyeron las siguientes: 1) temperatura mínima, 2) temperatura máxima, 3) precipitación, 4) altitud, 5) temperatura promedio anual, 6) rango de temperatura promedio diurna (máxima temperatura-mínima temperatura), 7) isothermalidad, 8) temperatura estacional, 9) temperatura máxima del mes más calido, 10) temperatura mínima del mes mas frío, 11) rango de temperatura anual, 12) temperatura promedio del cuarto de año mas húmedo, 13) temperatura promedio del cuarto de año mas seco, 14) temperatura promedio del cuarto de año mas cálido, 15) temperatura promedio del cuarto de año mas frío, 16) precipitación anual, 17) precipitación del mes mas húmedo, 18) precipitación del mes mas seco, 19) coeficiente de variación de la precipitación estacional, 20) precipitación del cuarto de año más húmedo, 21) precipitación del cuarto de año más seco, 22) precipitación del cuarto de año más cálido, y 23) precipitación del cuarto de año más frío. Las coberturas fueron integradas en un SIG utilizando el programa ARC-INFO para su manipulación y la obtención de las imágenes finales que se muestran en este trabajo. Además de los datos climáticos, se acotó el modelo de distribución potencial al tipo de suelo y a la Radiación Solar Global Media Estacional I (Primavera) en polígonos (Galindo *et al.* 1990). Respecto a la vegetación, aparentemente no hubo relación alguna por lo que no fue considerada en el acotamiento del modelo, Los sitios de colecta se ubicaron en bosque de encino, matorral desértico micrófilo, matorral sarcocaulle, matorral sarcocrasicaule, matorral subtropical, mezquital, pastizal natural, selva baja caducifolia, vegetación de desiertos arenosos, vegetación halófila y en sitios sin vegetación aparente.

El mapa de distribución potencial, previa validación y comparación con otros de distribución histórica presentes en la bibliografía permitió la estimación del área de la superficie de distribución potencial de la especie.

2.2. Resultados

Un primer análisis utilizando las coberturas bioclimáticas, nos muestra que potencialmente el sahuaro podría distribuirse a nivel mundial en países como Australia, Sudáfrica y Argentina, así como, en otros países ubicados en la misma latitud que el Desierto Sonorense (Figura 2.1). Los resultados muestran que *Carnegiea gigantea*

puede encontrarse desde el nivel del mar hasta los 1600 m de altitud, y que su distribución está delimitada por isotermas de entre 18 y 26 °C promedio anual. Ya que se sabe que no existen poblaciones de sahuaro fuera de América del Norte, se muestra el detalle de la distribución potencial regional basada en los 23 indicadores bioclimáticos en la Figura 2.2a. Utilizando este set de reglas en el algoritmo genético se obtiene una distribución potencial que excede en mucho la distribución actual de la

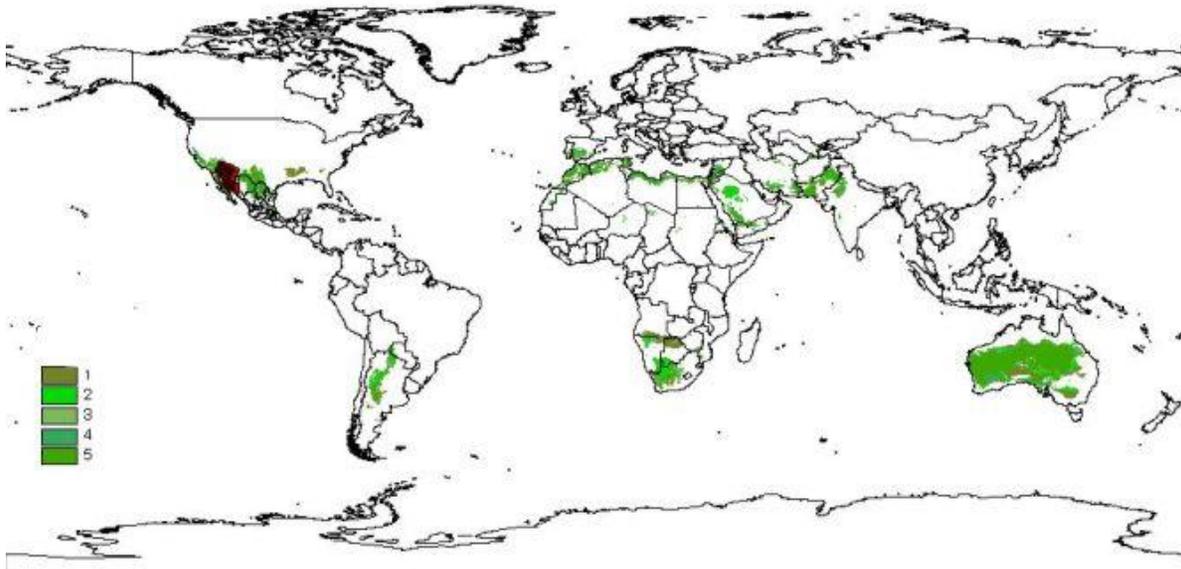


Figura 2.1. Distribución potencial del sahuaro a nivel mundial de acuerdo al modelo GARP generado por CONABIO basado en 953 registros de presencia y 23 variables bioclimáticas.

especie, incluyendo casi toda la península de Baja California, el sur de California, casi todo el estado de Sonora, y las partes más secas de los estados de Chihuahua, Coahuila y Texas, además de pequeñas porciones del norte de Sinaloa, Tamaulipas, Nuevo León, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí y una extensa área en el sudeste de los EU (Figura 2.2a). Aún al afinar la resolución del modelo, esta distribución excede notablemente los límites de la distribución actual, e incluye biomas secos con diferentes afinidades biogeográficas como las comunidades del Desierto Chihuahuense, del Desierto de Mojave, y de la región Tamaulipeca (Figura 2.2b). Por lo que se concluye que las 23 variables bioclimáticas por si solas no son capaces de delimitar la distribución actual del sahuaro. Al incrementar la resolución, el grueso de la

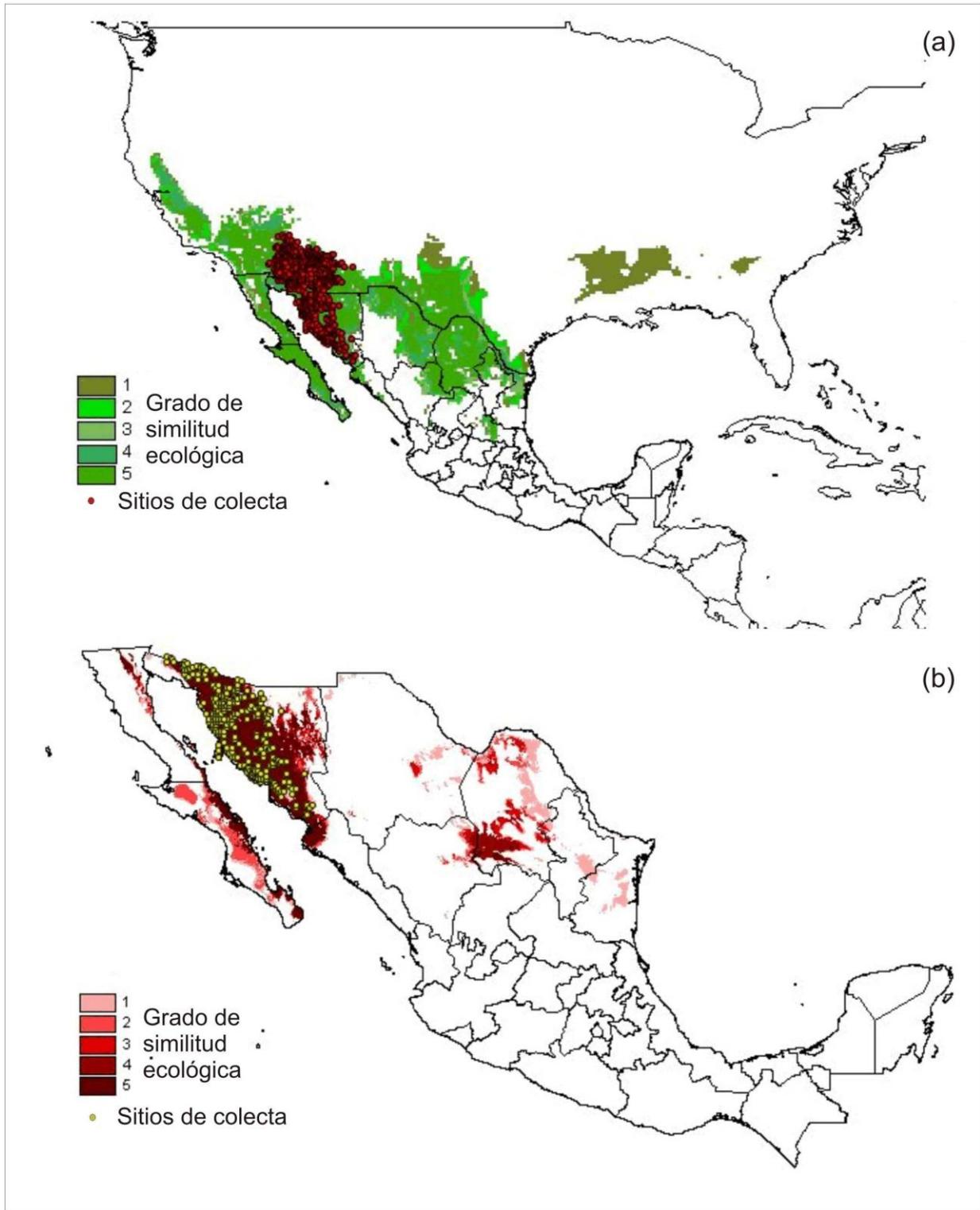


Figura 2.2. Distribución potencial del sahuaro en América del Norte (a) , y en México (b; a a mayor resolución) de acuerdo al modelo GARP generado por CONABIO. (a) basado en 953 registros de presencia y 23 variables bioclimáticas. (b) basado en 276 puntos de referencia. Entre mayor la puntuación de similitud ecológica, el ambiente de regeneración de esta especie es más adecuado.

distribución se ubica en el estado de Sonora con algunos enclaves de similitud ecológica principalmente en Coahuila: sitios donde naturalmente no se distribuye (Figura 2.2). Al añadir las isotermas entre 18-26 °C como elementos de diferenciación, la distribución real del sahuaro se ciñe más cercanamente a la región del Desierto Sonorense *sensu lato*, pero persisten los sitios de distribución en la región nororiental de México (Figura 2.3).

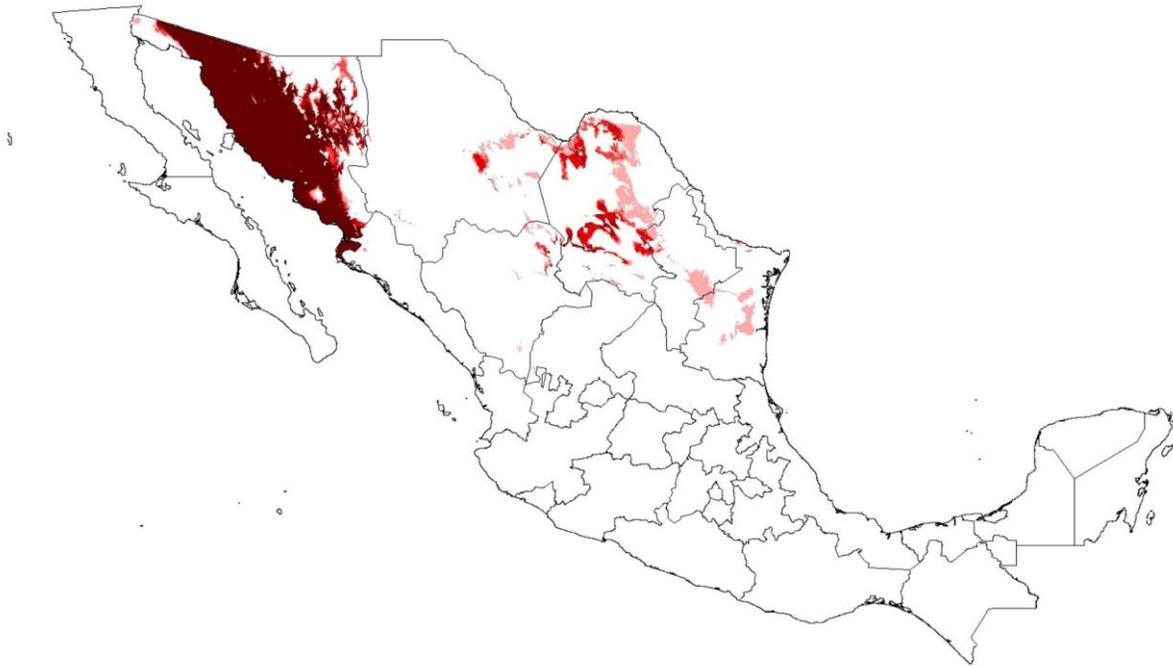


Figura 2.3. Distribución potencial del sahuaro en México de acuerdo al modelo GARP generado por CONABIO con 23 variables bioclimáticas y las isotermas entre 18-26 °C como elementos del modelo. Entre más oscuro el color, más adecuado es el ambiente para la regeneración de esta especie.

Incluir el tipo de suelo no incrementa la resolución del GARP para explicar la distribución del sahuaro. Sin embargo, al añadir la radiación solar promedio, especialmente la radiación solar promedio de primavera (Figura 2.4a), se encuentra una fuerte correspondencia que sugiere que la radiación solar de primavera es un elemento importante en la distribución y persistencia de poblaciones de sahuaro en el noroeste de México (Figura 2.4b). La parte norte de Baja California, tiene las mismas condiciones solares que las del Norte de Sonora, sin embargo, no existe ni un solo punto de colecta en esa zona que atestigüe la presencia de esta especie en la región.

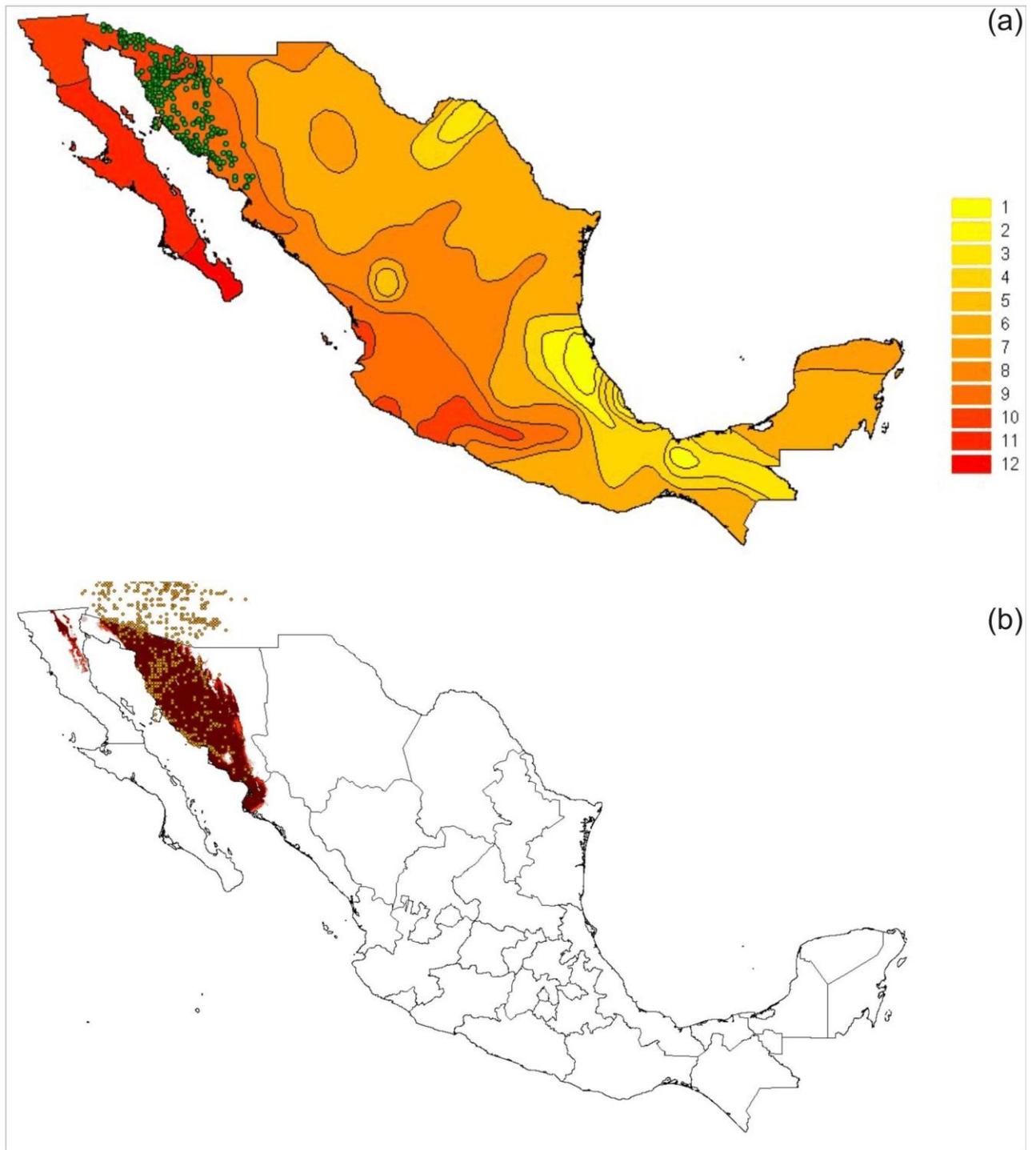


Figura 2.2. (a) Radiación solar promedio de primavera para México de acuerdo a Galindo et al. (1990). (b) Distribución potencial del sahuaro en México de acuerdo al modelo GARP cuando se incluye la radiación solar media de primavera. Entre mayor la puntuación de similitud ecológica, el ambiente de regeneración de esta especie es más adecuado. Note la estrecha correlación entre la distribución actual basada en las coberturas bioclimáticas básicas descritas en la metodología, los tipos de suelo, las isotermas de verano de 18-26 °C y la radiación promedio de primavera.

2.3. Discusión

Está generalmente aceptado que *C. gigantea* estuvo ausente en los bosques de mediados y finales del Wisconsin (el último periodo glacial) en lo que ahora conocemos como la región del Desierto Sonorense. Sin embargo, en algunos sitios en Sonora y Arizona se han identificado muestras de semillas de *C. gigantea* con edades que se remontan bien localizadas dentro del periodo glacial. Por ejemplo, se han encontrado semillas en las montañas de Ajo en Arizona de 14,500 a 32,000 años atrás (van Devender, 2002), aunque otros sitios, como en las montañas de Hornaday en Sonora, presentan fechas más cercanas al inicio del Holoceno con edades de 9,400 años (Van Devender, 1990). De acuerdo con van Devender (1990), fue en el Holoceno que se dispersó hacia la parte norte de su actual distribución, donde crecía con *Acacia greggii*, *Parkinsonia florida*, *Prosopis velutina* y *Juniperus californica*, antes de que se dieran las asociaciones actuales con *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Larrea tridentata*. El mapa de distribución potencial final de sahuaro obtenido con ayuda del GARP coincide de manera muy precisa con lo reportado en la bibliografía. Naturalmente los 23 parámetros bioclimáticos incluidos modelan de manera gruesa la distribución. Sin embargo, destaca la temperatura entre las isotermas de 18-26 °C, y la radiación como dos elementos fundamentales en limitar su distribución actual. Históricamente se sabe que la especie depende de las lluvias del verano para el reclutamiento de nuevas plantas, y no que se distribuye más hacia el oeste del Río Colorado porque las lluvias en verano son escasas al tornarse el clima o cada vez más mediterráneo o cada vez más seco (Turner *et al.*, 1995). Su límite noroeste es aproximadamente el Río Colorado (se observan pequeñas poblaciones en Chocolate, Whipple, y Picacho Mountains en California). Se sabe además que las temperaturas mínimas limitan la distribución de la especie hacia el norte y noreste, así como a elevaciones mayores (Steenberg y Lowe, 1977). Como Turner *et al.* (1995) describen, se distribuye en colinas rocosas y en pendientes, abanicos aluviales, bajadas y sitios amplios de los arroyos del desierto. En el límite norte de su distribución, las plantas son más abundantes en las pendientes ubicadas hacia el sur aunque algunas poblaciones se encuentran en pendientes norte, especialmente en sitios con escasa pendiente y poco expuestos a temperaturas por debajo del punto de congelación en invierno (Turner *et al.*, 1995). Los factores que limitan su distribución al este de Sonora se desconocen, probablemente se deba al aumento en densidad y cobertura de especies asociadas (Turner *et al.*, 1995). La

modelación utilizando un GARP permite sugerir que no sólo las temperaturas de congelación, o la disminución de la precipitación veraniega son importantes sino que probablemente variables relacionadas con la irradiancia pueden resultar determinantes para la distribución de esta especie (y quizá en general para muchas cactáceas columnares, ver discusión). Entre estas variables se cuentan las altas temperaturas promedio durante el verano, y la variación anual (en términos de varianza) en estas temperaturas, así como la radiación solar que es de las más altas del hemisferio. Debe destacarse que a pesar de que la distribución actual se ciñe bien a la modelada, la parte Norte de Baja California, que tienen las mismas condiciones solares que las del Norte de Sonora, no registra la presencia de poblaciones de sahuaro y que es posible que exista o existiera alguna población no identificada en las estribaciones nororientales de la Sierra San Pedro Mártir, o que simplemente el sahuaro no ha logrado dispersarse a esta cercana localidad.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE Y DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Descripción del sahuaro (*Carnegiea gigantea* [Engelm.] Britt & Rose).

El sahuaro es parte de un grupo muy amplio de cactáceas tropicales y subtropicales, las cuales alcanzan formas columnares masivas (Turner, *et al.*, 1995). El sahuaro puede alcanzar mas de 16 m de altura y vivir de 150 a 175 años, tiene un tallo principal que fácilmente pasa los 40 cm de diámetro, al cual, con el paso de los años se le pueden añadir desde 1 hasta varias ramificaciones laterales, ramificándose generalmente entre 2 y 3 m después de la base. Las ramificaciones alcanzan un diámetro de 30 a 65 cm. Tanto el tallo principal como las ramificaciones, tienen de 12 a 25 costillas verticales, y numerosas aréolas. Las aréolas albergan alrededor de 15 a 30 espinas que se separan en centrales y radiales, éstas tienen una longitud promedio de 3.8 cm, la coloración de las espinas va de café claro a negras. Las flores crecen individualmente en la parte superior de las aréolas, en el ápice del tallo principal y de las ramificaciones, son cilíndricas en forma de tubo, en embudo o acampanadas, de 10 a 12 cm de longitud y de 5 a 8 cm de diámetro, son nocturnas, hermafroditas y su coloración va de blanco a crema en el interior y en el exterior son verdes. El fruto es de color rojo a púrpura de 6 a 10 cm de longitud, y contiene numerosas semillas que tienen un diámetro medio de 0.75 mm (Shreve, 1951, Turner *et al.*, 1995, Felger *et al.*, 2001).

Carnegiea gigantea tiene una distribución más grande que muchas especies de cactáceas columnares, ya que se encuentra en casi todo el Desierto Sonorense en los Estados de Sonora, Arizona y en una pequeña porción del sur de California (Turner, *et al.*, 1995). En su ámbito de distribución, se traslapa con otras cinco especies de cactáceas columnares cercanamente relacionadas y muy similares ecológicamente: *Pachycereus pecten-aboriginum*, *P. pringlei*, *P. schotti*, *Stenocereus alamosensis* y *S. thurberi* (Turner *et al.*, 1995).

Las bajas temperaturas y las heladas recurrentes limitan a *C. gigantea* hacia el norte y noroeste de su distribución, en las inmediaciones de Phoenix, Arizona y en el suroeste de California (EUA). Hacia el este está limitado por la presencia de la Sierra Madre Occidental, hacia el oeste por el Golfo de California. Los factores limitantes en el sur,

no son aún definidos, pero se cree que es por la mayor precipitación veraniega y la competencia ocasionada por especies de clima tropical (Turner *et al.*, 1995).

3.2. Selección, localización y muestreo de los sitios de estudio

El estudio se llevó a cabo en 16 poblaciones localizadas a lo largo del ámbito de distribución del sahuaro en el Desierto Sonorense. Algunos sitios se encuentran en el matorral costero y el matorral del piedemonte. Incluye sitios desde 25° hasta 33° N de latitud, longitudes de 105° a 118° O, y desde casi el nivel del mar hasta 900 msnm aproximadamente (Figura 3.1). Se seleccionaron 14 sitios de muestreo en Sonora, México y 2 sitios en Arizona, EUA. Los sitios se eligieron a priori de manera estratificada tratando de cumplir dos criterios básicos: 1) cubrir latitudinal y longitudinalmente el ámbito de distribución de la especie, y 2) elegir los sitios con la mayor densidad aparente de sahuaros a nivel regional. De manera adicional, se trató de incluir en la muestra: 1) sitios en áreas naturales protegidas (ANP's), 2) sitios sujetos a aprovechamiento, 3) sitios en áreas en donde no se presenta algún régimen de protección, y 4) sitios donde se presume existe extracción ilegal del sahuaro (Tabla 3.1). Las 16 poblaciones son ilustrativas de las condiciones de mayor densidad en el entorno regional, y por lo tanto representan sitios con las mejores condiciones para el desarrollo de esta especie (Figura 3.1). Estas incluyen, dentro de los límites de la estratificación antes descrita, poblaciones en sitios hiperáridos en el noroeste de Sonora, donde los sahuaros crecen en una matriz de vegetación baja, típica de la subdivisión Altiplano de Arizona del Desierto Sonorense, poblaciones con influencia marítima a lo largo de la faja costera central del Golfo de California, y poblaciones en los límites de distribución en los matorrales tropicales del piedemonte de la Sierra Madre Occidental y de la planicie costera del sur de Sonora (Tabla 3.1).

El muestreo consistió en la selección sistemática de individuos de todas las categorías de tamaño (y consiguientemente de edad) tal como iban apareciendo en parcelas anidadas que se iniciaban en una parcela de 20 x 20 m (400 m²; Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974). La adición de unidades de muestreo se continuó hasta obtener una muestra de al menos 100 individuos vivos (exceptuando Date Creek Ranch con 76 plantas vivas). También se registraron todos los individuos muertos que aparecieron en el muestreo. Cada uno de los individuos se ubicó utilizando un posicionador geográfico satelital GPS (Garmin MAP

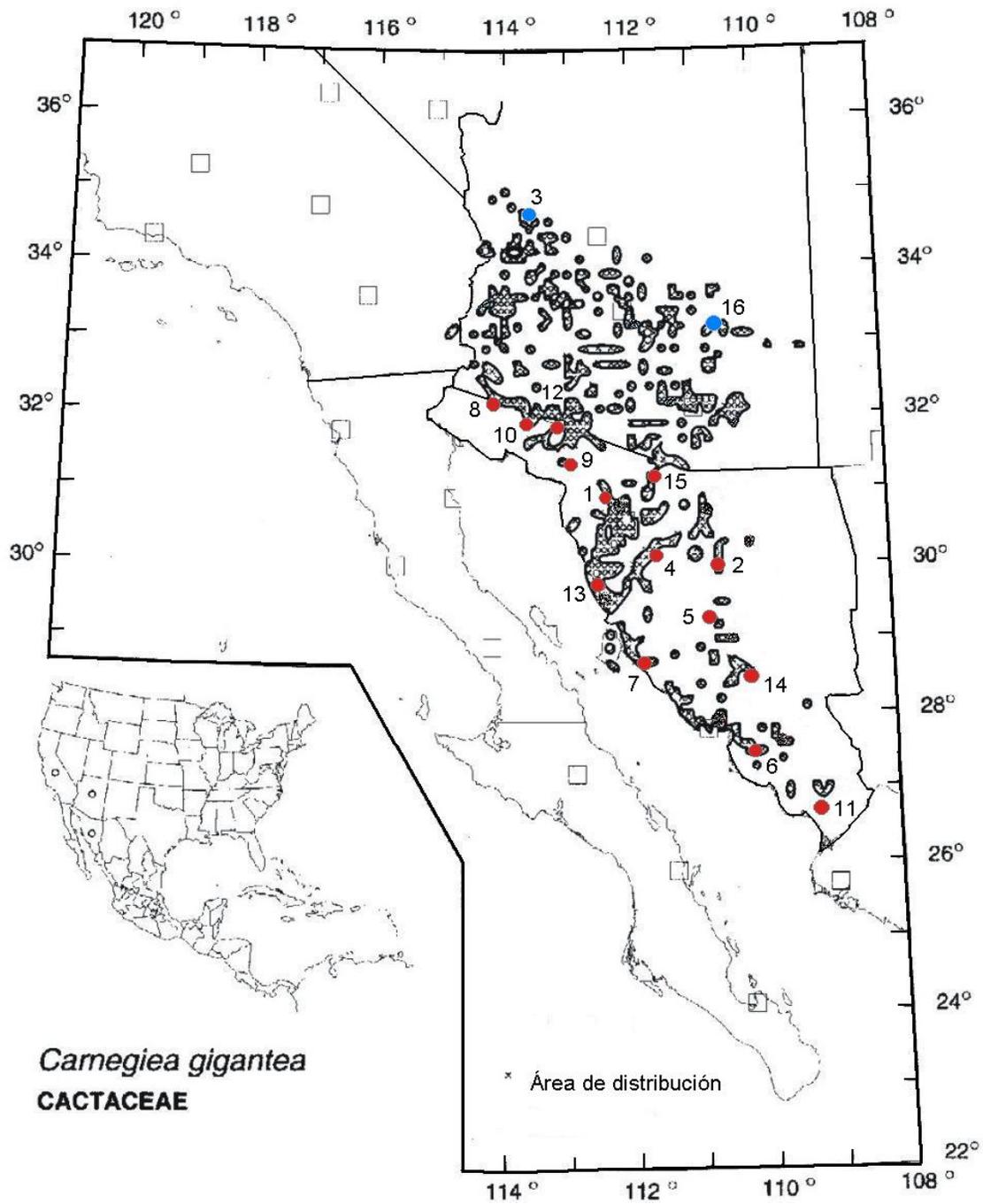


Figura 3.1. Distribución del sahuaro en el noroeste de México y sudoeste de los EU, de acuerdo con Turner *et al.* (1995). Los círculos y números adyacentes indican las 16 poblaciones de estudio. 1) Caborca, 2) Cucurpe, 3) Date Creek Ranch, 4) El Dipo, 5) El Orégano, 6) Las Guásimas, 7) Bahía Kino, 8) La Joyita *, 9) La Primavera, 10) Cráter MacDougal *, 11) Masiaca †, 12) Los Vidrios *, 13) Rancho Lobos, 14) San Marcial, 15) Sáric, 16) Winkelman. * = Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, † = Comunidades Indígenas.

Tabla 3.1. Localización geográfica, elevación y tipo de vegetación (de acuerdo a Shreve, 1951) en las 16 poblaciones muestreadas de *Carnegia gigantea*. Los sitios reciben el nombre de la población más cercana. N= Número de individuos muestreados (incluye vivos y muertos). Latitud y longitud utilizando WGS84 en grados decimales.

Subdivisiones (Shreve, 1951)	Sitio	N	Latitud N	Longitud E	Elevación msnm
Planicies de Sonora	El Dipo	106	29.85858	111.4803	687
	El Orégano	106	29.05956	110.60112	441
Altiplano de Arizona	Caborca	108	30.80603	112.23887	204
	Cucurpe	105	30.29124	110.72172	882
	La Primavera	105	31.30457	112.55258	350
	Sáric ³	104	31.12595	111.38298	871
	Winkelman	109	32.86397	110.69813	693
Valle del Bajo Colorado	Date Creek Ranch ¹	80	34.18102	113.01085	898
	La Joyita ²	130	32.2113	114.00617	264
	Los Vidrios ²	128	31.97838	113.23811	240
	MacDougal ²	124	31.97094	113.62412	114
Costa Central del Golfo	Bahía Kino	108	28.82815	111.77339	9
	Rancho Lobos ³	110	29.56078	112.21648	164
Piedemonte de Sonora*	Las Guásimas	115	27.90795	110.53785	12
	San Marcial	127	28.59115	110.24582	103
Matorral costero*	Masiaca ⁴	108	26.77562	109.30647	333

Nota: ¹ Con influencia del Desierto de Mojave, ² Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, ³ Sitio sujeto a aprovechamiento, ⁴ Comunidades Indígenas. * Actualmente no forma parte del Desierto Sonorense.

76, Garmin International, Inc., Olathe, Kansas) y además se marcó con una etiqueta numerada de aluminio de 2 x 3 cm, sujeta a la base del tallo con un alambre galvanizado calibre 20.

3.3. Clima

El Desierto Sonorense es único comparado con otros desiertos, sus extremos este y oeste se encuentran bajo diferentes regímenes de precipitación dominante. En el oeste, en el lado Pacífico de la Península de Baja California, y una pequeña parte en el norte, predominan las escasas precipitaciones de invierno-primavera, y las irregulares e

inusuales precipitaciones de verano. En cambio, hacia el lado sureste, a lo largo de la costa de Sonora, predominan las tormentas tropicales de verano (Brown, 1982). En todo el ámbito de distribución del sahuaro se presenta un clima relativamente uniforme, con diferencias regionales a consecuencia de la latitud, elevación, y geografía del área, aunque existe un claro componente de incremento de la precipitación total y el porcentaje de precipitación de verano del oeste hacia el este. (Ezcurra *et al.*, 2002; Búrquez *et al.*, 2006). El clima comprende diferentes expresiones de los climas de tipo seco árido o desértico BW y esteparios BS, conforme a la clasificación de Köpen modificada por García (1988). Presenta veranos muy calientes con grandes variaciones de temperatura tanto diurnas como anuales, precipitación bimodal en invierno y verano con la mayor proporción de las lluvias concentradas durante las lluvias monzónicas veraniegas (Búrquez *et al.*, 1999; MacMahon, 2000). Es común que se presenten periodos de 90 días consecutivos con una temperatura máxima de 38° C durante el verano o periodos sin lluvias que se prolongan por varios meses (Shreve, 1951). Los datos de precipitación y temperatura para cada población fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas mas cercanas a cada uno de los puntos muestreados, estos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua del Estado de Sonora (CNA) o directamente del sitio de internet del Servicio Meteorológico Nacional. La información meteorológica para los sitios de los EUA, se obtuvo del sitio de internet del US Meteorological Service. En sitios que se encontrasen muy lejos de alguna estación meteorológica, los datos de precipitación y temperatura media anual, se obtuvieron realizando una interpolación lineal entre las estaciones cercanas al sitio y corroborando con la carta de precipitación media anual y temperatura media anual de INEGI (1988). Este fue el caso de las poblaciones de La Joyita, Los Vidrios, Cráter MacDougal y La Primavera, se consideró conveniente estimar los valores promedio de precipitación y temperatura por medio de la obtención de medias ponderadas, generadas a partir de la interpolación de las estaciones de San Luis Río Colorado (SLRC) y Sonoyta. Los 16 sitios muestreados comprenden localidades con una escasa precipitación pluvial (promedio anual =116 mm) en las partes más áridas hasta sitios muy húmedos (600 mm) en las faldas de la Sierra Madre. De igual forma, las temperaturas máximas y mínimas de los sitios cubren un rango de más de 45°C en verano hasta temperaturas inferiores a los 0 °C en invierno (INEGI 1988; CNA).

3.4 Correlaciones ambientales

Con la información de las estaciones meteorológicas mas cercanas a cada población, se obtuvieron ocho diferentes índices climáticos para cada localidad que incluyen los promedios de precipitación y temperatura promedio anual, y los promedios de precipitación y temperatura máxima y mínima para los periodos que comprenden los meses de Noviembre-Abril (época de secas) y Mayo-Octubre (época de aguas) (Tabla 3.2). Estos valores, junto con parámetros ambientales que incluyen, la latitud, longitud, elevación, textura y pedregosidad de los suelos y riqueza de la vegetación, se utilizaron para establecer la relación de los parámetros climáticos con las características de variación morfológica y de estructura poblacional en los capítulos subsecuentes.

3.5. Vegetación

La vegetación de las poblaciones estudiadas comprende alguna de las cinco subdivisiones continentales del Desierto Sonorense que estableció Shreve (1951): Planicies de Sonora, Altiplano de Arizona, Piedemonte de Sonora, Valle del Bajo Colorado, y Costa Central del Golfo (Tabla 3.1). Paralelamente, se utilizó la clasificación INEGI (1988) para describir la vegetación predominante en cada población: mezquital, matorral sarcocaulé y matorral desértico micrófilo (Tabla 3.2). Para la vegetación asociada al tipo de suelo se utilizaron las cartas de “Uso de suelos y vegetación” Tijuana 1:1,000,000.

Para determinar la vegetación asociada a cada una de las poblaciones se realizaron al menos 10 relevés en cada sitio de muestreo (Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974). El método consistió en estimar la abundancia relativa (en una escala ordinal donde 0= ausente, a 5= abundancia mayor del 75%) de las especies presentes en el área delimitada por un radio de aproximadamente 10 m (315 m^2) en torno al punto de muestreo. Con los relevés se estimó la curva especies-área, la abundancia relativa de las especies y la riqueza de cada uno de los sitios.

3.6. Suelos

El Desierto Sonorense se caracteriza por la alternancia de sierras y valles, bajadas (abanicos aluviales) y llanuras. Los rellenos de aluvión Cuaternario dominan el paisaje en los amplios valles, siendo los suelos predominantes en las planicies y en los cerros

Tabla 3.2. Estaciones meteorológicas más cercanas a cada uno de los sitios con los parámetros de precipitación promedio anual y temperatura promedio anual y máxima y mínima por periodos específicos (noviembre-anbril = época de secas, mayo-octubre época de lluvias).

Sitio	Estación Meteorológica	Ubicación de la Estación	Elevación (msnm)	Distancia de la estación al sitio (km.)	Años de registro	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)				
						Nov -Abr	May-Oct	Anual	Nov-Abr		May-Oct		Anual
									Max	Min	Max	Min	
Caborca	Pitiquito	30.697N 112.116W	330	22	52	82.5	166.4	248.9	24.9	6.0	37.4	18.2	21.7
Cucurpe	Cucurpe	30.330N 110.706W	860	4	29	174.8	357.6	532.4	23.3	4.7	34.7	15.7	19.6
Date Creek Ranch	Hillside 4 NNE, Az.	34.025N 112.523W	898	51	98	215.6	171.9	387.6	18.3	-1.3	32.0	10.6	14.9
El Dipo	Félix Gómez	29.836N 111.478W	660	2	47	84.1	147.8	314.0	23.8	4.1	34.2	14.9	19.3
El Orégano	El Orégano	29.241N 110.720W	275	26	66	83.6	289.0	372.7	29.9	8.5	39.6	21.0	24.8
Las Guásimas	Empalme	27.950N 110.930W	12	29	26	77.9	197.4	275.3	33.1	6.5	39.6	18.1	26.9
Bahía Kino	San Isidro	28.841N 111.654W	9	11	50	56.1	123.6	179.8	26.77	6.7	36.8	19.3	22.3
La Joyita *	SLRC/Sonoyta	Ver texto			58	89.9	110.9	116.4	18.06	4.0	39.0	22.1	21.4
La Primavera	Quitovac	31.527N 112.7312W	388	5	58	106.9	139.3	246.2	23.7	8.1	35.9	19.8	21.9
MacDougal *	SLRC/Sonoyta	Ver texto			58	89.93	110.9	158.6	18.0	4.0	39.0	22.0	21.4
Masiaca	Sinahuisa	26.918N 109.453W	333	21	32	89.2	268.6	345.8	27.9	9.2	36.3	21.2	23.1
Los Vidrios *	SLRC/Sonoyta	Ver texto			58	89.9	110.9	167.7	18.0	4.0	39.0	22.1	21.4
Rancho Lobos	Puerto Libertad	31.301N 113.550W	7	59	12	69.0	48.5	134.0	22.6	10.9	32.0	22.2	22.2
San Marcial	Punta de agua II	28.473N 110.312W	103	10	29	100.0	349.3	449.3	28.5	6.2	37.3	18.9	22.8
Sáric	Presa Cuahutémoc	30.870N 111.515W	590	31	54	257.9	120.6	378.6	24.1	7.2	35.8	18.1	21.3
Winkelman	Winkelman 6 s, Az.	32.910N 110.700 W	693	15	38	152.91	200.4	353.3	22.0	0.8	36.1	14.6	18.4

* = Poblaciones en las que se estimaron parámetros de temperatura y precipitación interpolando los valores entre las estaciones meteorológicas de Sonoyta y San Luis Río Colorado (ver texto).

los Xerosoles y Yermosoles, mientras que existen Litosoles y Regosoles en las faldas de la Sierra Madre Occidental y en las sierras costeras (Búrquez *et al.*, 1999; INEGI 1988). Además de las volcánicas (con predominio de andesitas e ignimbritas), las rocas ígneas intrusivas (granitos y granodioritas) son las de mayor distribución en el Desierto Sonorense (INEGI, 1988). Afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias del Precámbrico, representadas por granitos y gneisses (INEGI, 1988; MacMahon, 2000). El Paleozoico esta representado por calizas, ortocuarsitas y dolomitas metamorizadas y el Mesozoico por calizas y rocas detríticas de ambientes marinos y continentales (INEGI, 1988; Tabla 3.2). Para la caracterización geológica y edafológica se utilizó la carta “Edafológica” Tijuana 1:1,000,000, y la carta “Geológica” Tijuana 1:1,000,000

Tabla 3.2. Parámetros edafológicos y tipo de vegetación en los sitios de estudio de acuerdo a INEGI (1988). El nivel de pedregosidad se evaluó en una escala ordinal de 1-5 directamente en cada sitio.

Sitio	Tipo de suelo	Textura suelo	Nivel pedreg.	Vegetación
Caborca	Rc/1	1	4	Vegetación halófitas
Cucurpe	Re+Xh+L/2	2	3	Mezquital
Date Creek Ranch	Re+L+Yh	2	5	Matorral desértico micrófilo sarcocaula.
El Dipo	L+Re/1	1	3	Mezquital
El Orégano	Bc/2	2	5	Matorral sarcocaula
Las Guásimas	Zo+Yh/2	2	1	Matorral subinermo
Bahía de Kino	Zo+Z/1	1	1	Mat. desértico micrófilo/ subinermo
La Joyita	Je+Jc/1	1	1	Mat. desértico micrófilo /Inermo
La Primavera	Yh+Rc+Jc/2	2	2	Matorral desértico micrófilo /subinermo
MacDougal	Yk+L+Rc/2	2	1	Matorral espinoso
Masiaca	L+Vc/3	3	5	Matorral Sarcocaula
Los Vidrios	Rc+Yh/1	1	1	Matorral desértico micrófilo /subinermo
Rancho Lobos	Re+Rc /1	1	2	Mezquital
San Marcial	Re+Be/1	1	4	Mezquital / vegetación secundaria
Sáric	Re+Rc/1	1	4	Cardonal
Winkelman	Re+L+Yk	2	4	Mezquital

Nota: Tipo de suelo según INEGI (1988): Bc = Cambisol crómico. Be = Cambisol eútrico. Je = Fluvisol eútrico. Jc = Fluvisol calcárico. L = Litosol. Rc = Regosol calcárico. Re = Regosol eútrico. Vc = Vertisol crómico. Xh = Xerosol háplico. Yh = Yermosol háplico. Yk = Yermosol cálcico. Z = Zolonchak takirico. Zo = Solonchak órtico. Textura de Suelo según INEGI (1988): 1= Gruesa. 2= Media. 3= Fina. Nivel de pedregosidad según lo observado en campo: 1= Arenoso o limoso. 2= Areno-pedregoso. 3= Poco pedregoso. 4= Pedregoso. 5= Muy Pedregoso.

respectivamente. Los sustratos geológicos regionales, los tipos de suelos y el nivel de pedregosidad son muy cambiantes para cada uno de los sitios de estudio, los cuales van desde suelos con texturas muy finas a muy pedregosos (INEGI, 1988). La textura del suelo se midió en la escala ordinal de INEGI (1988) como: 1= Gruesa. 2= Media. 3= Fina. El nivel de pedregosidad según lo observado en campo: 1= Arenoso o limoso. 2= Areno-pedregoso. 3= Poco pedregoso. 4= Pedregoso. 5= Muy Pedregoso (Tabla 3.2).

3.7. Metodologías específicas

Las metodologías específicas de medición y análisis de datos se describen en cada capítulo.

CAPÍTULO 4

VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE SITIOS CON ALTAS DENSIDADES DE SAHUARO

4.1. Introducción

Se ha demostrado que existe una relación entre los parámetros vitales de una población y la vegetación en la que estas poblaciones se desarrollan (Fowler, 1988; Oostermeijer *et al.*, 1994, 1998; Hegland *et al.* 1991. Este enfoque ha sido utilizado especialmente en proyectos asociados a entender la biología y conservación de especies raras o en peligro (Hutchings, 1991; Hutchings *et al.*, 1998). Sin embargo, esta relación entre vegetación y estructura poblacional de una especie no es fácil de implementar ya que requiere del monitoreo espacial y temporal tanto de los aspectos demográficos como de cambio en las comunidades debidos a modificaciones del ambiente biótico por causas naturales o antropogénicas (McAuliffe, 1988; Crawley, 1990).

En este capítulo se explora la estructura y composición de los 16 sitios de estudio poblacional de *Carnegieia gigantea* con un énfasis especial en las relaciones de diversidad alfa, beta y gamma como posibles elementos predictores del comportamiento poblacional del sahuaro. Estos valores, se utilizarán posteriormente para establecer las correlaciones bióticas entre abundancia de sahuaro y ambiente.

4.2. Metodología

En cada sitio, se tomaron al menos 10 parcelas de 10 m de radio para evaluar, en base a la escala ordinal de Braun-Blanquet (Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974), la identidad y los valores de abundancia-cobertura de cada especie perenne. Las especies que no fueron identificadas en campo, fueron colectadas e identificadas en el laboratorio. Con esta información se calculó la diversidad alfa asociada a la distribución del sahuaro. Además, se evaluaron las características abióticas de cada sitio, incluyendo: la elevación, el substrato geológico y características de suelo como la clase de textura, y la presencia y grado de pedregosidad.

Se determinó para cada sitio la curva de acumulación de especies conforme aumentaban las muestras para determinar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente para capturar la diversidad alfa de los sitios. Ya que la intensidad del muestreo se determinó a priori como un conjunto de aproximadamente diez muestras para cada sitio,

no se consideró corregir los valores realizando una curva de rarefacción de especies (Gotelli y Colwell, 2001).

Para determinar la similitud florística entre las comunidades se utilizó el índice de Chao-Jaccard basado en abundancia; un estimador conservador de la similaridad entre comunidades (Chao *et al.* 2005). Este estimador varía desde 0 (ausencia de similaridad), hasta 1 (identidad completa) . Para el cálculo se utilizó el programa EstimateS, disponible en internet (Colwell, 2006).

4.3. Resultados

Se registraron 125 especies de plantas perennes en los 16 sitios de muestreo de las poblaciones de sahuaro estudiadas (Tabla 4.1). Esta muestra representa la diversidad gamma del estudio y comprende una amplia diversidad de familias (32: Figura 4.1) entre las que destaca la de las cactáceas con el mayor número de especies (22), seguida de las Fabáceas *sensu lato* (Mimosaceae 12, Caesalpinaceae 6 y Papilionaceae 4 especies) y las Asteráceas (13 especies). Más de la mitad de las familias (19) están representadas por sólo una (10) o dos especies (9; Figura 4.1).

La matriz especies-sitios contiene numerosos casos con ausencia de especies lo que indica que cada sitio presenta una diversidad alfa muy baja comparada con la de la totalidad de los sitios (Tabla 4.2). Las 125 especies registradas presentan una distribución muy dispersa entre sitios sin patrones evidentes a simple vista. Predominan las especies que ocurren únicamente en un sitio (68 especies=54%; Figura 4.2). El 78% de las especies ocurre en 3 o menos sitios, y solamente el 9% de las especies (11) está presente en 8 o más sitios. La única especie presente en todos los sitios fue la especie estudiada: *Carnegiea gigantea*. En 10 o más de los 16 sitios ocurren: *Parkinsonia microphylla*, *Opuntia arbuscula*, *Stenocereus thurberi*, *Encelia farinosa* y *Olneya tesota* (Figura 4.2).

A un mismo esfuerzo de muestreo, la diversidad alfa de los sitios varía desde la

Tabla 4.1. Listado (con abreviaturas) de las especies encontradas en las 16 localidades estudiadas de *Carnegiea gigantea*.

ESPECIE	Abreviatura	ESPECIE	Abreviatura
<i>Abutilon incanum</i>	Abuinc	<i>Krameria grayi</i>	Kragra
<i>Abutilon especie 1</i>	Abusp1	<i>Krameria sonora</i>	Krason
<i>Acacia cochliacantha</i>	Acacoc	<i>Larrea tridentata</i>	Lartri
<i>Acacia constricta</i>	Acacon	<i>Lippia palmeri</i>	Lippal
<i>Acacia coulteri</i>	Acacou	<i>Lycium andersoni</i>	Lycand
<i>Acacia occidentalis</i>	Acaocc	<i>Lycium berlandieri</i>	Lycber
<i>Acacia especie 1</i>	Acasp1	<i>Lycium especie 1</i>	Lycsp1
<i>Acacia willardiana</i>	Acawil	<i>Lycium especie 2</i>	Lycsp2
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	Ambamb	<i>Lycium especie 3</i>	Lycsp3
<i>Ambrosia deltoidea</i>	Ambdel	<i>Lysiloma divaricata</i>	Lysdiv
<i>Ambrosia dumosa</i>	Ambdum	<i>Mammillaria microphylla</i>	Mammic
<i>Atamisquea emarginata</i>	Ataema	<i>Mammillaria especie 1</i>	Mamp1
<i>Atriplex barclayana</i>	Atrbar	<i>Mammillaria especie 2</i>	Mamp2
<i>Atriplex canescens</i>	Atrican	<i>Mammillaria thornberi</i>	Mamtho
<i>Atriplex polycarpa</i>	Atripol	<i>Merremia palmeri</i>	Merpal
<i>Brickellia coulteri</i>	Bricou	<i>Mimosa distachya</i>	Mimdis
<i>Bursera fagaroides</i>	Burtag	<i>Mimosa especie 1</i>	Mimsp1
<i>Bursera laxiflora</i>	Burlax	<i>Olneya tesota</i>	OIntes
<i>Bursera microphylla</i>	Burmic	<i>Opuntia arbuscula</i>	Opuarb
<i>Caesalpinia pumila</i>	Caesalp	<i>Opuntia bigelovii</i>	Opubig
<i>Carlwrightia arizonica</i>	Carari	<i>Opuntia fulgida</i>	Opuful
<i>Carnegiea gigantea</i>	Cargig	<i>Opuntia gosseliniana</i>	Opugos
<i>Celtis iguanea</i>	Celigu	<i>Opuntia leptocaulis</i>	Opulep
<i>Celtis pallida</i>	Celpal	<i>Opuntia ramosissima</i>	Opuram
<i>Colubrina viridis</i>	Colvir	<i>Opuntia thurberi</i>	Oputhu
<i>Compuesta DS especie 1</i>	CompDCsp1	<i>Opuntia versicolor</i>	Opuver
<i>Compuesta especie 1</i>	Comsp1	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	Pacpec
<i>Coursetia glandulosa</i>	Cougla	<i>Pachycereus schotti</i>	Pacsch
<i>Croton sonora</i>	Croson	<i>Panicum sp.</i>	Pansp1
<i>Citharexylum flabellifolium</i>	Cytfla	<i>Parkinsonia microphylla</i>	Parmic
<i>Desmanthus covillei</i>	Descov	<i>Parkinsonia precox</i>	Parpre
<i>Diphysa occidentalis</i>	Dipocc	<i>Pedilanthus macrocarpus</i>	Pedmac
<i>Echinocereus engelmannii</i>	Echeng	<i>Pennisetum ciliare</i>	Cencil
<i>Echinocereus fasciculatus</i>	Echfas	<i>Phaulothamnus spinescens</i>	Phaspi
<i>Encelia farinosa</i>	Encfar	<i>Phoradendron californicum</i>	Phocal
<i>Erigonum especie 1</i>	Eriosp1	<i>Phoradendron diguetianum</i>	Phodig
<i>Eysenhardtia orthocarpa</i>	Eysort	<i>Pleuraphis rigida</i>	Plerig
<i>Ferocactus acanthodes</i>	Feraca	<i>Poaceae en la Joyita</i>	Poasp1
<i>Ferocactus emoryi</i>	Feremo	<i>Prosopis glandulosa</i>	Progla
<i>Ferocactus herrerae</i>	Ferher	<i>Prosopis velutina</i>	Provel
<i>Forchhammeria watsonii</i>	Forwat	<i>Randia obcordata</i>	Ranobc
<i>Fouquieria macdougallii</i>	Foumac	<i>Sebastiania bilocularis</i>	Sebbil
<i>Fouquieria splendens</i>	Fouspl	<i>Senna covesii</i>	Sencov
<i>Frankenia especie 1</i>	Fransp1	<i>Sideroxylon occidentale</i>	Sidocc
<i>Guaiacum coulteri</i>	Guacou	Sp1 Dipo	Sp1 Dipo
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Gymglu	Sp1 S. Marcial	Sp1 Marcial
<i>Haematoxylon brasiletto</i>	Haebra	Sp1 Oregano	Sp1 Oregano
<i>Haplopappus especie 1</i>	Hapsp1	Sp10 Masiaca	Sp10 Masiaca
<i>Heteropteris eglandulosa</i>	Hetegl	Sp13 S. Marcial	Sp13 Marcial
<i>Heterotheca thiniicola</i>	Hetthi	Sp2 Oregano	Sp2 Oregano
<i>Hintonia latifolia</i>	Hinlat	Sp4 Masiaca	Sp4 Masiaca
<i>Hoffmanseggia microphylla</i>	Hofmic	Sp5 Oregano	Sp5 Oregano
<i>Horsfordia alata</i>	Horala	Sp6 S. Marcial	Sp6 Marcial
<i>Hyptis emoryi</i>	Hypemo	SP6 Masiaca	SP6 Masiaca
<i>Ibervillea sonora</i>	Ibeson	Sp7 Guasimas	Sp7 Guasimas
<i>Ilex sp</i>	Ilex sp	Sp9 S. Marcial	Sp9 Marcial
<i>Ipomoea arborescens</i>	Ipoarb	<i>Sphaeralcea ambigua</i>	Sphamb
<i>Jacquinia macrocarpa</i>	Jacmac	<i>Stenocereus alamosensis</i>	Steala
<i>Jatropha cardiophylla</i>	Jatcar	<i>Stenocereus thurberi</i>	Stethu
<i>Jatropha cordata</i>	Jatcor	<i>Trixis californica</i>	Trical
<i>Jatropha cuneata</i>	Jatcun	<i>Tricerna phyllantoides</i>	Triphy
<i>Justicia candicans</i>	Juscan	<i>Viguiera deltoidea</i>	Vigdel
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Karhum	<i>Ziziphus obtusifolia</i>	Zizobt

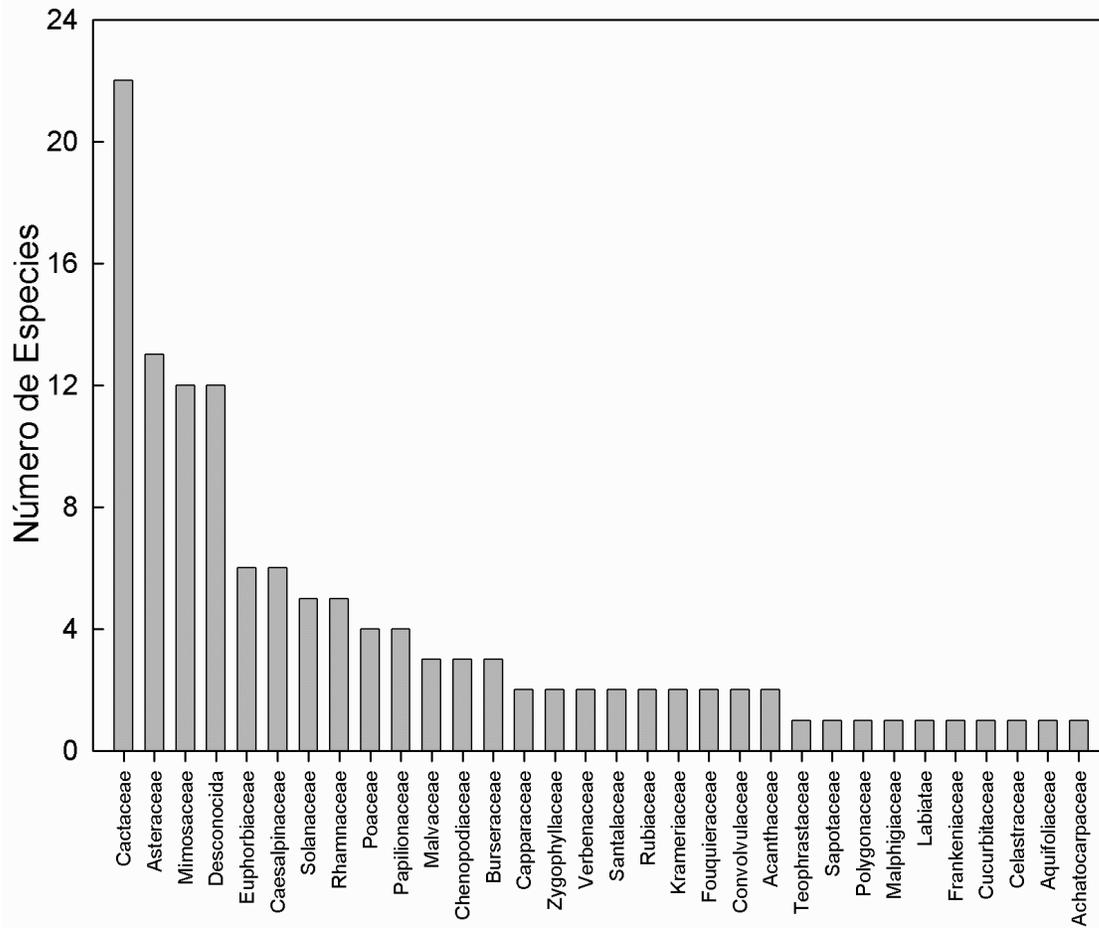


Tabla 4.1. Número de especies de plantas vasculares perennes en las 32 familias registradas en los 16 sitios de estudio de *Carnegeia gigantea*.

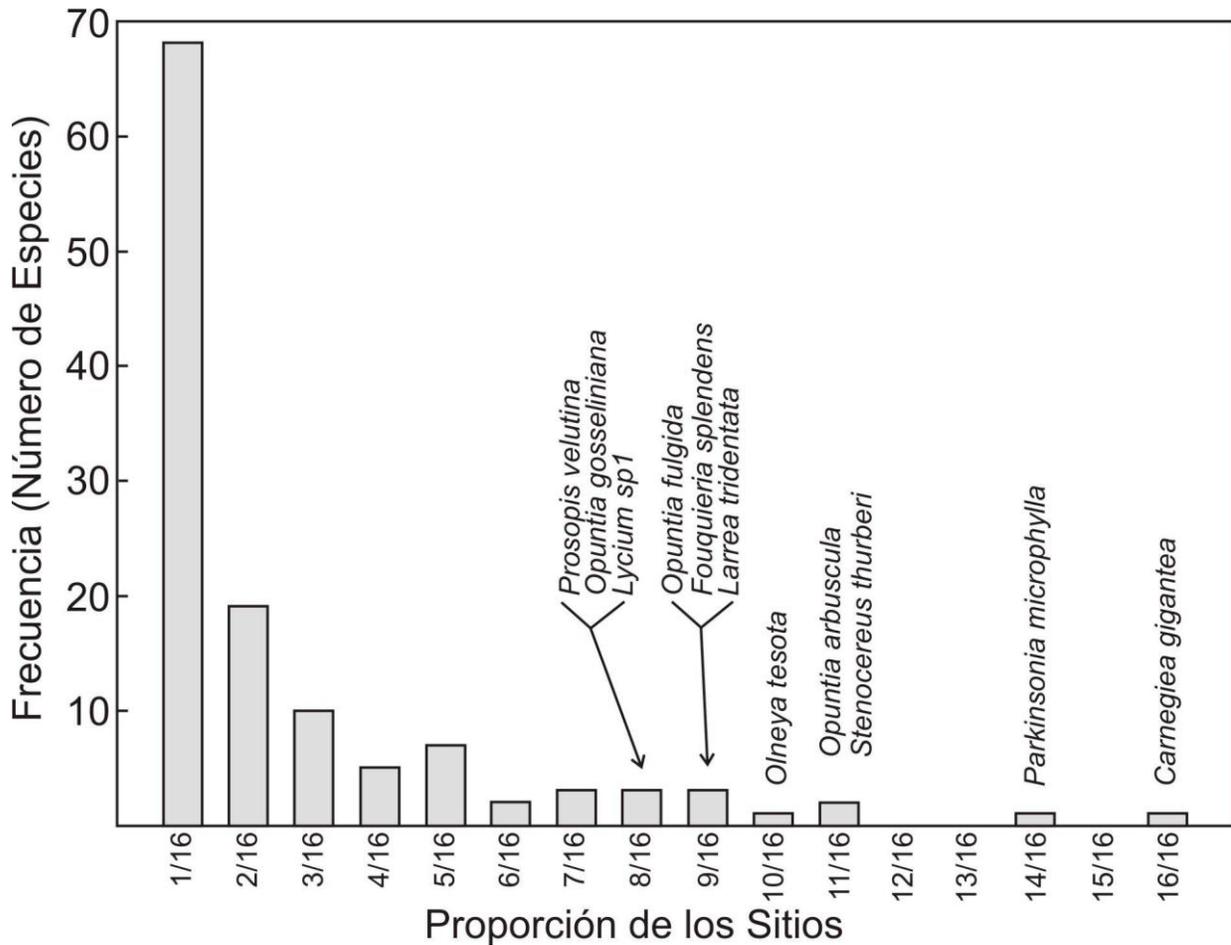


Figura 4.2. Número de especies que ocurren en 1, 2, 3...16 sitios muestreados (esto es: 1/16, 2/16...16/16 de los sitios). Note que la mayoría de las especies está presente sólo en un sitio, y sólo *Carnegiea gigantea* está en todos los sitios.

localidad más pobre en el Cráter MacDougal con sólo 6 especies, hasta las ricas comunidades subtropicales del centro y sur de Sonora con 20 o más especies (El Orégano, Las Guásimas y Masiaca; ver diagonal principal en la Tabla 4.3). La diversidad beta, expresada en forma bruta por el número de especies compartidas (mitad superior de la Tabla 4.3) muestra que las comunidades que comparten el mayor número de especies son Sáric-La Primavera, y Masiaca- El Orégano. En ambos casos estos pares de sitios comparten el mismo tipo de vegetación y están relativamente cercanas en términos geográficos (ver Tabla 3.1). Al utilizar el índice Chao-Jaccard

Tabla 4.2. Matriz especies-sitios con la abundancia promedio de especies perennes en cada uno de las localidades muestreadas de *Carnegiea gigantea*. Los valores indican la abundancia relativa promedio en una escala porcentual. Los números en cada columna indican las poblaciones tal como se describen en la Tabla 1.1? En color amarillo se destaca la presencia y en blanco la ausencia de especies.

Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Abuinc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Abusp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0
Acacoc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
Acacon	1.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acacou	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acaocc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acasp1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acawil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ambamb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ambdel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.1	0.0	0.0	3.8	18.2	0.0	0.0	0.0
Ambdum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2	0.0	0.0	32.5
Ataema	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Atrbar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Atrican	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Atripol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bricou	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Burfacg	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Burlax	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Burmic	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Caepum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Carari	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cargig	2.5	8.2	1.0	4.9	3.7	5.2	10.7	2.4	4.3	6.6	3.0	3.0	5.3	1.9	5.3	1.0
Celigu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
Celpal	0.0	9.5	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0
Cencil	0.4	0.0	0.0	0.0	31.8	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	0.0	0.0
Colvir	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CompDCsp1	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Comsp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cougla	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0
Crosou	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0
Cyftla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Descov	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dipocc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0
Echeng	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.3	0.0
Echfas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
Encfar	0.2	1.2	5.0	0.1	0.0	0.3	0.0	10.8	1.5	7.6	0.0	0.7	0.0	0.0	13.7	0.0
Eriosp1	0.0	0.0	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Eysort	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feraca	0.0	0.2	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feremo	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.9	0.1
Ferher	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Forwat	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Foumac	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fospl	14.5	0.9	1.0	0.5	11.5	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.0	0.0	5.2	0.0	14.3	0.0
Fransp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Guacou	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
Gymglu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Haebra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hapsp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Hetegl	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hetthi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hinlat	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hofmic	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Horala	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Hypemo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Ibeson	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ilex sp	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ipoarb	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jacmac	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jatcar	0.0	4.8	0.0	0.4	0.5	1.6	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	8.6	0.0
Jatcor	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
Jatcun	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
Juscan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Karhum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Kragra	2.4	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.2
Krasou	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lartri	8.4	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	12.4	2.9	13.3	10.7	0.0	24.5	34.1	0.0	0.0	16.1
Lippal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lycand	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lycber	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
Lycsp1	0.8	0.7	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	4.5	0.4	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	1.4	0.1
Lycsp2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lycsp3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0
Lysdiv	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mammic	0.5	0.0	0.0	0.8	0.5	0.0	0.5	0.0	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0

Tabla 4.2 (cont)																
Mamsp2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
Mamtho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Merpal	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mimdis	0.1	0.5	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.7	17.7	0.0
Mimsp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
Ointes	2.0	0.0	0.0	10.5	3.7	0.0	0.5	2.7	1.0	0.0	0.0	7.7	1.0	20.1	0.0	0.0
Opuarb	3.5	0.5	0.0	0.5	0.4	4.8	0.0	0.7	0.9	0.0	0.0	0.9	0.2	0.9	4.7	0.0
Opubig	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.3	0.0	0.0	0.0
Opuful	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	3.7	2.0	0.1	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.5	2.8
Opugos	0.0	0.0	6.8	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
Opulep	1.7	0.0	0.0	1.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5
Opuram	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Oputhu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1
Opuver	0.0	0.0	0.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
Pacpec	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pacsch	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	3.3	0.0	0.8	0.0	0.0	1.5	2.9	0.0	0.0	0.0
Pansp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Parmic	6.6	0.0	30.5	2.4	19.3	0.2	0.0	1.4	7.0	5.9	15.5	6.5	0.1	1.8	15.1	17.0
Parpre	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pedmac	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Phaspi	0.0	6.5	0.0	0.1	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0
Phocal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
Phodig	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Plerig	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Poaceae Joyita	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Progla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Provel	0.0	38.7	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	3.3	0.5	1.4	0.0	0.0	1.0	2.3	3.8	0.0
Ranobc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
Sebbil	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sencov	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sidocc	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp1 Dipo	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp1 Marcial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.6	0.0	0.0
Sp1 Oregano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp10 Masiaca	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp13 Marcial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Sp2 Oregano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp4 Masiaca	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp5 Oregano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp6 Marcial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
SP6 Masiaca	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp7 Guasimas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sp9 Marcial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Sphamb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
Steala	0.0	0.0	0.0	1.1	0.5	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
Stethu	2.6	0.3	0.0	2.6	1.6	3.4	0.9	0.0	1.5	0.0	6.8	0.0	0.2	1.0	2.0	0.0
Trical	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0
Triphy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vigdel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zizobt	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.4	0.0	1.5

basado en abundancia (parte inferior de la Tabla 4.3), sólo 4 pares de sitios presentan elevados valores de similaridad (mayores de 0.8): La Primavera con Los Vidrios y Rancho Lobos, La Joyita-Los Vidrios, y Cucurpe- Sáric. En general domina una muy baja similaridad entre sitios. De los 120 pares válidos, 108 presentan valores de similaridad menores a 0.5, y de estos 28 son menores a 0.1. Esta es una indicación clara de que existe una elevada diversidad beta que hace que la mayoría de los sitios presenten conjuntos únicos de especies. Al clasificar los sitios mediante un análisis de conglomerados jerárquico utilizando el método de Ward, utilizando sólo el criterio de presencia-ausencia, se aprecia una patente separación de los sitios en cuatro grupos generales (Figura 4.3a); uno que agrupa los sitios más secos hacia el noroeste, otro con sitios localizados en la parte suroeste del Altiplano de Arizona, con posible influencia del Golfo de California, otro más de la parte continental del Altiplano de Arizona, y finalmente el conjunto de sitios en comunidades de matorral del piedemonte y matorral costero que están más o menos aislados uno de otro en términos de similaridad. Un patrón similar pero con menor estructura se aprecia al utilizar los valores de abundancia en lugar de los valores de presencia ausencia (Figura 4.3b).

Tabla 4.3. Riqueza de especies (diversidad alfa; diagonal principal), especies compartidas (diversidad beta absoluta; parte superior de la matriz), y similitud entre comunidades (diversidad beta utilizando el índice Chao-Jaccard basado en la abundancia) de plantas perennes en los 16 sitios de estudio de *Carnegiea gigantea*. Marcadas en negritas y azul los sitios con similitudes superiores a 0.750, en cursivas y verde los sitios con similitudes entre 0.5 y 0.75, y con amarillo los sitios con menos de 0.1 de similitud. La diversidad gamma es de 125 especies.

	Caborca	Cucurpe	Date Creek	El Dipo	El Orégano	L.Guásimas	Bahía Kino	La Joyita	La Primavera	MacDougal	Masiaca	Los Vidrios	R. Lobos	San Marcial	Sáric	Winkelman
Caborca	19	3	5	8	6	4	5	6	8	3	6	7	5	5	8	4
Cucurpe	0.125	9	3	5	2	3	1	4	5	3	2	3	3	4	7	0
Date Creek Ranch	0.427	0.112	11	4	3	2	2	4	5	4	3	4	3	2	4	4
El Dipo	0.454	0.464	0.279	14	6	4	4	5	7	3	5	4	4	7	9	4
El Orégano	0.221	0.072	0.235	0.272	20	4	3	3	5	2	10	3	3	8	7	1
Las Guásimas	0.102	0.094	0.073	0.152	0.149	23	7	2	6	1	4	3	2	8	5	1
Bahía Kino	0.221	0.065	0.036	0.145	0.052	0.277	14	3	5	2	4	3	4	3	4	2
La Joyita	0.308	0.636	0.379	0.337	0.105	0.057	0.167	11	7	5	2	7	4	5	6	2
La Primavera	0.371	0.163	0.325	0.296	0.143	0.152	0.224	0.490	14	5	4	8	7	8	10	3
MacDougal	0.236	0.537	0.493	0.277	0.125	0.057	0.232	0.550	0.362	6	2	4	3	3	4	2
Masiaca	0.224	0.029	0.153	0.156	0.579	0.132	0.118	0.060	0.123	0.122	22	2	3	6	6	1
Los Vidrios	0.507	0.110	0.380	0.267	0.124	0.066	0.251	0.906	0.909	0.555	0.080	11	5	4	5	3
Rancho Lobos	0.413	0.194	0.051	0.212	0.085	0.058	0.383	0.337	0.794	0.404	0.046	0.671	8	3	3	1
San Marcial	0.159	0.104	0.041	0.248	0.455	0.155	0.035	0.151	0.300	0.056	0.072	0.146	0.089	22	8	3
Sáric	0.349	0.818	0.364	0.607	0.350	0.138	0.079	0.438	0.355	0.296	0.214	0.275	0.103	0.105	17	2
Winkelman	0.248	0.000	0.324	0.137	0.089	0.023	0.116	0.093	0.237	0.292	0.088	0.507	0.170	0.032	0.101	10

