



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

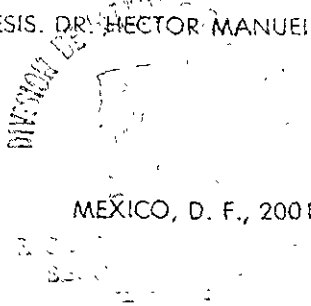
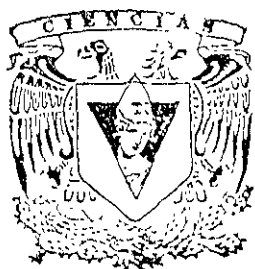
FACULTAD DE CIENCIAS

DIVERSIDAD BETA E INDICES DE SIMILITUD ENTRE COMUNIDADES DE CACTACEAS EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G A
P R E S E N T A
BARBARA KAREN LUCIA GOETTSCH CABELLO

DIRECTOR DE TESIS. DR. DIRECTOR MANUEL HERNANDEZ MACIAS



MEXICO, D. F., 2001



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

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: Diversidad beta e índices de similitud entre comunidades de cactáceas en el Desierto Chihuahuense.

realizado por Bárbara Karen Lucía Goettsch Cabello

con número de cuenta 9554237-7 , quién 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

Héctor Hernández Macías

Propietario

Dr. Alfonso Valiente Banuet

Alfonso Valiente Banuet

Propietario

M. en C. Mercedes del Pilar Rodríguez Moreno

Mercedes del Pilar Rodríguez Moreno

Suplente

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

José Alejandro Zavala Hurtado

Suplente

Biól. Carlos Gómez Hinostrosa

Carlos Gómez Hinostrosa

Consejo Departamental de Biología

Patricia Ramos Morales

Dra. Patricia Ramos Morales

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGÍA

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento y reconocimiento al Dr. Héctor Hernández por el apoyo incondicional y orientación a lo largo de este trabajo, por su comprensión y paciencia. Por su amistad y el interés en compartir su conocimiento.

A Carlos Gómez por su buena disposición, por todos los kilómetros recorridos juntos, por sus enseñanzas y aportaciones a este trabajo, y por su amistad.

Mi reconocimiento y gratitud al Dr. Alfonso Valiente por su asesoría, su buena disposición, por sus recomendaciones y su amistad.

A Pilar Rodríguez y Alejandro Zavala por las sugerencias, críticas y participación como sinodales.

A Rolando Bárcenas por su ayuda y observaciones, Alfredo Wong por la asesoría en el análisis de datos (por aguantar la insistencia). A los compañeros del IB Norma, Isaías, Mario S. y Gina por los empujones.

A mis padres Cristina y Federico, a mis hermanos Federico, Cristina, Claudia y Reneé, la abuela Lola, mis cuñados, Norma, Russell, Graciano y Fabián. A Dominga y a mis maravillosos sobrinos Diego, Michael, Pablo, Karen, Vanesa, Juliana, Ximena y Regina. Por ser parte fundamental de mi historia, gracias por su cariño y apoyo.

A Nicolás por todos estos años compartidos, por su amor y apoyo siempre.

A Mónica, Florencia, Juan, Carlos y resto de la familia por la aceptación y el cariño.

A mis compañeros, a las personas con las que cohabite, a las que hicieron más amena mi estancia en esta ciudad y amigos en general (el orden no altera el cariño): Xanic, Tamara, Argelia, Ale, Margara, Pocahontas, Ismene, Chana, Blanca, Paula, Eli, Daniela L., Muench, Omar, Paloma, Bárbara, Neto, Tuinky, Bernas, Misha, Joaco, Gabo, Malaga, Paco, Julián. A mis amigas de siempre Vania, Montse, Chabela, Karin, Karla y Karo. A Lola por sus cuidados. A Santi y Caro. A Vanesito, Elena, Tití y Marco. A Montse por todo. A Pelos por compartir el viaje. A los entreverados, Morel, Fer, Rafa, Carlitos, Ligy, Nash, Homero, Yolanda, Víctor y al resto de la banda. por su sincera amistad y fidelidad.

A la Facultad de Ciencias, a la UNAM.

Al Instituto de Biología de la UNAM.

Al asombroso y mágico Desierto Chihuahuense.

Contenido

Resumen	1
Introducción	2
Carcterización de la zona de estudio	
Ubicaciónj geográfica	7
Clima	7
Geología y fisiografía	9
Vegetación	9
Metodología	
Trabajo de campo	10
Procesamiento del material botánico	12
Análisis de los Datos	
Frecuencia relativa	12
Diversidad α	12
Diversidad β	13
Promedio de diversidad β	13
Índice de Jaccard	13
Resultados y Discusión	
Riqueza de especies	14
Frecuencia relativa de las especies	18
Diversidad β	21
Índice de similitud florística de Jaccard	25
Conclusiones	27
Referencias	29
Apéndice	33

Resumen

El Desierto Chihuahuense (DC) es considerado entre las 10 ecoregiones más importantes de América del Norte y una de las tres ecoregiones desérticas más sobresalientes del mundo (Dinerstein *et al.* 1999). Dentro de sus límites se encuentran alrededor de 350 especies de cactáceas, lo que equivale al 23.3% de las especies del mundo. Este desierto se califica como el principal núcleo de diversificación de la familia Cactaceae. En particular la región este y sureste del DC se considera el sitio de más alta concentración de especies de cactáceas amenazadas en el mundo (Hernández y Bárcenas 1995). Esta alta riqueza de la familia en esta zona se puede explicar, en parte, por una alta diversidad β entre las comunidades.

Se realizaron 23 muestreos a lo largo de un transecto ubicado en el sureste del DC, en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas. Se calculó la diversidad beta entre las diferentes comunidades de cactáceas muestreadas. Se hicieron análisis entre comunidades contiguas y entre todas las comunidades entre sí. De ambos análisis se obtuvieron valores de diversidad β relativamente altos. En el área de estudio se encontraron un total de 64 taxa. El 52.5% de las especies se registraron de una a tres veces a lo largo del transecto, siendo estas especies las que más contribuyeron al aumento de la diversidad β . Por otro lado, sólo 11 especies sobrepasan el valor medio de las frecuencias (28.3%), entre las cuales cuatro especies del género *Opuntia* son las más frecuentes y de más amplia distribución. Estas especies favorecen a la diversidad α y tienden a reducir la diversidad β .

Se encontró que el recambio de las especies a lo largo del transecto no es verdadero, sino más bien resultado del carácter intermitente en la distribución espacial de las especies de cactáceas. Esta característica junto con la heterogeneidad ambiental de la zona, la frecuente distribución restringida de las especies y la presencia de barreras biogeográficas que limitan la distribución de algunas de ellas, son los factores que incrementan la diversidad β en la zona de estudio. Para complementar el análisis de diversidad β también se calculó el índice de similitud de comunidades utilizando el coeficiente de Jaccard. No se observó una tendencia a que las comunidades más cercanas fueran más parecidas. El valor más alto de similitud fue de 0.79 entre comunidades no contiguas.

Introducción

México es considerado el principal centro de diversificación de la familia Cactaceae. Dentro del territorio nacional se encuentran aproximadamente 48 géneros y 535 especies (Hunt 1999) y se calcula que el 73% de los géneros y el 78% de las especies son endémicas al país (Hernández y Godínez 1994). Este grupo de plantas se distribuye principalmente dentro de las zonas áridas y semiáridas, las cuales ocupan aproximadamente el 50% del territorio nacional y albergan alrededor del 20% de la flora del país. Las cactáceas, así como la vegetación a la cual están asociadas, han sufrido una gran especiación, dando lugar a una flora considerada como única entre las regiones de México (Rzedowski 1991).

Una de las regiones áridas más importantes del país es el Desierto Chihuahuense (DC). Éste abarca el 26.4% de la superficie terrestre del territorio nacional, con una extensión de aproximadamente 507,000 km², de los cuales el 80% queda comprendido dentro de México, y el resto se distribuye en el extremo sur de los Estados Unidos, en los estados de Texas, Nuevo México y Arizona (MacMahon y Wagner 1985). Recientemente se situó al DC como una de las 10 ecoregiones más notables de Norte América, dada su alta biodiversidad y la existencia de numerosas especies endémicas de flora y fauna. Por estas características, es considerada también una de las tres ecoregiones desérticas más importantes del mundo, comparándose únicamente con el desierto de Namibia-Karoo en el sur de África y con el Gran Desierto de Arena de Australia (Dinerstein *et al.* 1999).

En el planeta existen cerca de 1,500 especies de cactáceas, de las cuales el 36% se reportan para México (Hunt 1999). De éstas, 350 especies (23.3% del total global y 65% del total nacional) se encuentran dentro de los límites del DC (Dinerstein *et al.* 1999). Muchas de ellas son endémicas a esta región, por lo que se considera a este desierto el principal núcleo de diversificación del grupo (Hernández y Bárcenas 1995) y el centro de mayor riqueza de cactáceas en el mundo (Hernández *et al.* 2001). Cabe mencionar que varios géneros y especies se encuentran incluidos en el apéndice I y toda la familia en el apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES 1990). Además, el 34% (510) de las especies se encuentran dentro de la Lista Roja de Plantas Amenazadas de la Unión Mundial para la Conservación (UICN; Walter y Gillett 1998). En lo que respecta a las

especies de cactáceas mexicanas en peligro, la UICN enumera un total de 286 especies (Walter y Gillett 1998) y la Norma Oficial Mexicana 059, 257 especies (SEDESOL 1994).

El DC, uno de los desiertos más grandes de América del Norte, es también uno de los menos estudiados (Hernández y Bárcenas 1995). No se conoce de una manera precisa el estado de conservación, distribución y riqueza de la biodiversidad de esta importante región. Además, ha sido sometida a grandes factores de perturbación como la agricultura, el sobre-pastoreo de ganado caprino, la minería y la urbanización, amenazando a muchas de las especies que habitan esta región y al ecosistema en general. Así mismo, el saqueo ilegal de cactáceas es una de las actividades que más pone en peligro a esta familia. Es por ello que se pueden calificar como urgentes los estudios sobre la biodiversidad del DC para determinar zonas prioritarias para la conservación en las cuales se proteja el mayor número de especies.

En 1974 se celebró uno de los simposios más importantes acerca de los recursos naturales de este desierto (Wauer y Riskind 1974), tratando temas sobre paleontología, mastozología, ictiología y botánica. Uno de los trabajos más sobresalientes es en el que se establecen los límites de este desierto y se determinan algunas subregiones biogeográficas con base en la distribución de la herpetofauna (Morafka 1974). Sin embargo, no se cuenta con una subdivisión florística (MacMahon y Wagner 1985) lo cual refleja la escasez de conocimiento sobre la flora de esta región.

A pesar de que no son muchas las investigaciones que se han realizado sobre la biogeografía y diversidad de la familia Cactaceae en el DC (Hernández y Godínez 1994, Hernández y Bárcenas 1995, 1996, Gómez-Hinostrosa 1998, Bárcenas 1999, Gómez-Hinostrosa y Hernández 2000, Hernández *et al.* 2001), dentro de su gran extensión se han localizado zonas de alta diversidad de cactáceas. Los estados de San Luis Potosí, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas se caracterizan por ser de los más diversos en cuanto a especies de esta familia (Matuda y Gold 1956, Rzedowski 1956, Meyran y Meyran 1972, Pinkava 1984, Martínez y Jiménez 1993, Hernández y Bárcenas 1995, 1996). De una manera más específica, dentro de estos estados de alta diversidad se han localizado regiones que contienen un alto número de especies de cactáceas, como la región de Mier y Noriega, que con un área de 2,845 km² alberga un total de 56 especies (16% del total del DC; Gómez-Hinostrosa y Hernández 2000) y la región de El Huizache. Esta última es considerada como un "hot-spot" de diversidad de cactáceas

(Hernández *et al.* 2001), ya que dentro de sus 2,855 km² se encuentran 75 especies, (21,4% del total del DC; Hernández *et al.* 2001). Ambas regiones quedan comprendidas dentro del Área Natural Protegida de Real de Guadalcázar, San Luis Potosí (Anónimo 1997). Otra zona de alta riqueza es el Valle de Jaumave en el suroeste de Tamaulipas, para el cual se han reportado 71 especies de cactáceas de las 139 registradas para el estado (Martínez y Jiménez 1993).

Hernández y Bárcenas (1995) realizaron estudios sobre la biogeografía de cactáceas amenazadas. Para ello dividieron el DC en cuadrantes de 30' latitud x 30' de longitud. Posteriormente, con base en los registros de la Base de Datos de Cactáceas de Centro y Norte América (Hernández *et al.* 1993) localizaron los cuadrantes que presentaran el mayor número de especies amenazadas. Los conjuntos más importantes de especies amenazadas se encuentran en los cuadrantes en donde se ubican los poblados de El Huizache, San Luis Potosí, Mier y Noriega, Doctor Arroyo, Matehuala, Tula, Miquihuana, Aramberri, Ciudad Victoria y Jaumave, lo cual coloca al norte de San Luis Potosí y al sureste de Nuevo León y Tamaulipas como zonas de alta riqueza de este grupo. A partir de esto se concluyó que las cactáceas que se encuentran amenazadas dentro del DC tienden a agregarse hacia la porción sureste y este del desierto, y dada la alta diversidad de especies de cactáceas amenazadas dichos centros son prioritarios para la conservación (Hernández y Bárcenas 1995).

La diversidad biológica es una manifestación que ha llamado la atención de muchos científicos (Whittaker 1960, 1972, 1973, 1977, Shmida y Wilson 1985, Mittermeier *et al.* 1997, 1999). Dentro de los aspectos de la biodiversidad los temas más estudiados son la diversidad como fenómeno, la forma en que se puede medir y los factores que la favorecen y mantienen. La diversidad se puede evaluar a diferentes escalas, las cuales quedan incluidas unas dentro de otras. Por ejemplo, la riqueza de especies que encontramos en un paisaje o región, corresponde a la diversidad gamma (γ); mientras que el número de especies que encontramos dentro de una comunidad, se conoce como diversidad alfa (α). Al recambio de especies que existe entre comunidades se le conoce como diversidad beta (β ; Whittaker 1960, 1977). La diversidad β nos dice qué tan parecida es una comunidad con respecto a otra en términos de composición de especies, tomando en cuenta las especies que aparecen y desaparecen de un sitio a otro (Magurran 1988). Existen una gran variedad de formas para medir la diversidad β . Wilson y Shmida (1984) hacen una comparación de las diferentes fórmulas para calcular

Caracterización de la Zona de Estudio

Ubicación geográfica

La zona de estudio se sitúa entre los 23° 15' y 24° 01' de latitud norte y entre los 99° 15' y 101° 45' longitud oeste, en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, y Tamaulipas (Fig. 1).

Clima

Los tipos de clima predominantes en la zona de estudio son los BS₀ y los BS₁, ambos pertenecientes al grupo de los climas secos. El primero forma parte de los climas más secos de este grupo ya que se encuentran en los límites de los climas BW o muy secos. El segundo pertenece a los climas semisecos. Ambos con régimen de lluvias en verano y escasas a lo largo del año (García 1981). En una localidad se registra un clima del subtipo CX', que forma parte de los templados subhúmedos con lluvias escasas todo el año. En la Tabla 1, se muestran de manera específica los subtipos de climas BS que se presentan en la zona de estudio.

Tabla 1. Subtipos de climas pertenecientes a los tipos BS₀ y BS₁ que se registraron en diferentes sitios de muestreo. Fuente: Atlas Nacional del Medio Físico, INEGI 1988.

Subtipo	Descripción	Sitio de muestreo
BS ₁ hw	Semiseco semicálido, lluvias en verano, % de precipitación invernal entre 5 y 10.2	16, 18, 20, 23
BS ₁ kw (x')	Semiseco templado, lluvias en verano, % de precipitación invernal entre mayor de 10.2, con canícula *	7, 14, 15
BS ₁ kx'	Semiseco templado, lluvias escasas todo el año, % de precipitación invernal mayor de 18	10, 13
BS ₀ hw	Seco semicálido, lluvias en verano, % de precipitación invernal entre 5 y 10.2.	19, 21, 22
BS ₀ hx'	Seco semicálido, lluvias escasas todo el año, % de precipitación invernal mayor de 18.	8, 11, 12
BS ₀ kw	Seco templado, lluvias en verano, % de precipitación invernal entre 5 y 10.2, con canícula	1, 2, 3, 4, 5, 6
BS ₀ kx'	Seco templado, lluvias escasas todo el año, % de precipitación invernal mayor de 18	9

* Canícula. Una pequeña temporada menos lluviosa, dentro de la estación de lluvias, llamada también sequía de medio verano.

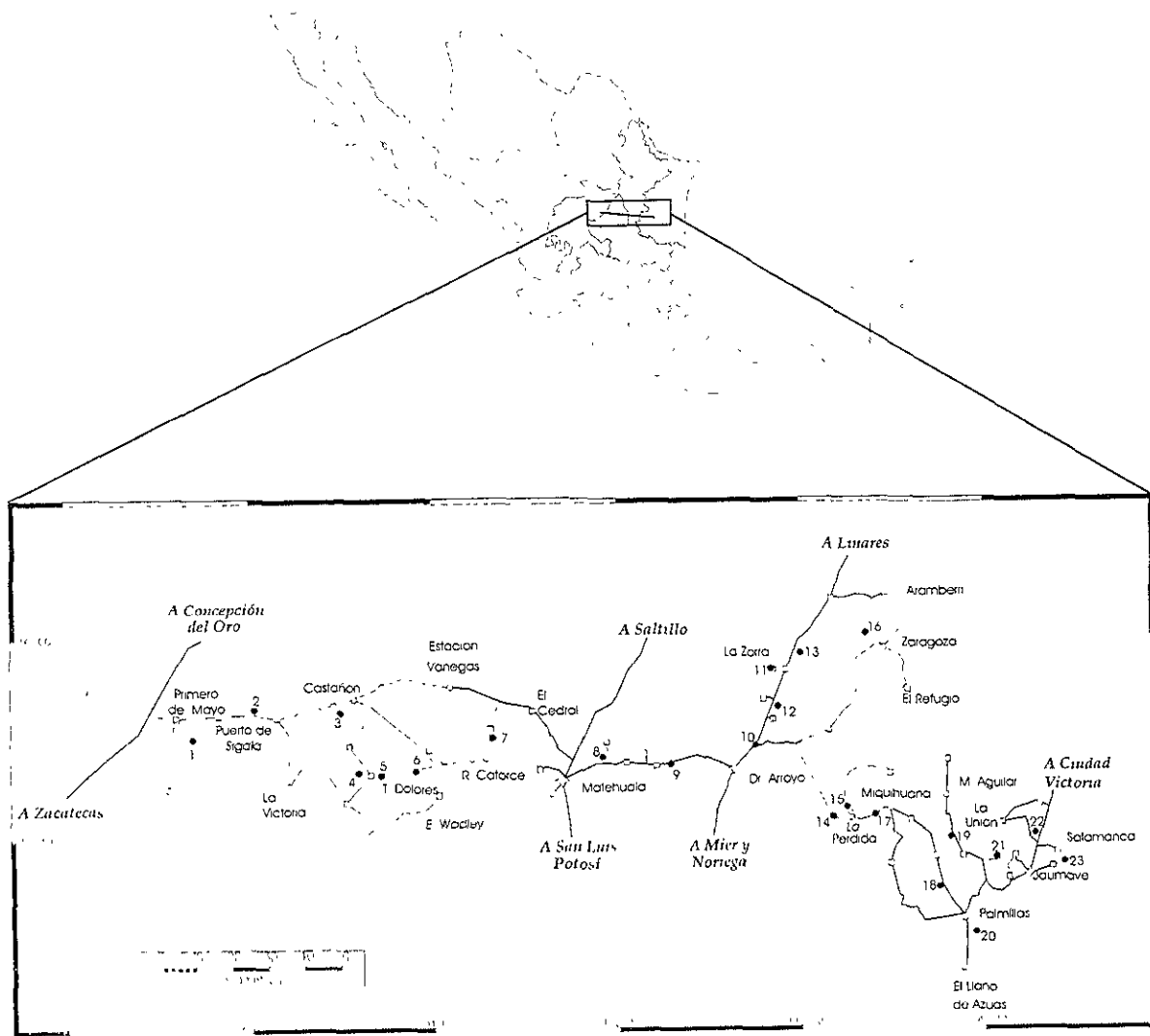


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Los puntos sólidos y numerados indican los sitios muestreados (véase Tabla 2).

Geología y fisiografía.

La zona de estudio se ubica en las provincias fisiográficas del Altiplano Mexicano y en la Sierra Madre Oriental. Éstas se conforman principalmente por aluviones del Pleistoceno en la porción de Zacatecas y parte de San Luis Potosí, y por rocas sedimentarias marinas del Cenozoico y del Mesozoico, principalmente calizas, lutitas y margas, en algunas porciones de San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas (Rzedowski 1978).

Dentro de las sierras que presentan mayor altitud se encuentran la Sierra de Catorce, en San Luis Potosí, con altitudes de hasta 3,180 msnm. En el estado de Nuevo León se localiza la Sierra Vieja cerca de Dr. Arroyo, que alcanza altitudes de hasta 2500 msnm, y la Sierra Peña Nevada, cercana a Zaragoza, se aproxima a los 3000 msnm.

En lo correspondiente al estado de Tamaulipas existen varios cerros próximos a los lugares de muestreo, todos ubicados en la Sierra Madre Oriental. Éstos van de los 2000 a cerca de 3000 msnm, como la Sierra Los Borregos al norte de Miquihuana, Sierra El Pino al oeste de Magdalena Aguilar y Sierra Grande al noreste y Sierra Los Nogales al sur del poblado de San José de Salamanca, al este de Jaumave, (INEGI 1981); rodeado por las serranías mencionadas se encuentra el Valle de Jaumave. Por otro lado, cabe destacar a las planicies que existen en el noreste de Zacatecas y el noroeste de San Luis Potosí, en particular el municipio de El Rucio y en el oeste del Municipio de Catorce.

Vegetación

Con base en la clasificación general de la vegetación de México de Rzedowski (1978), el tipo de vegetación encontrada en el área de estudio pertenece a un matorral xerófilo, representado principalmente por matorral micrófilo y por matorral rosetófilo.

El matorral micrófilo es el tipo de vegetación dominante en gran parte de las zonas áridas del país. En la zona de estudio, como en la mayor parte del DC, el matorral micrófilo está dominado por *Larrea tridentata*, que generalmente se encuentra en regiones en donde el promedio anual de precipitación oscila entre los 150 y 500 mm (Rzedowski 1978). El matorral de *Larrea* se distribuye principalmente en las planicies y en las partes bajas de los abanicos aluviales ocupando grandes extensiones y comúnmente es la única especie dominante. En algunos sitios de muestreo se encontraron como elementos codominantes de este matorral especies de *Yucca filifera*, *Prosopis ssp* y *Fouquieria splendens*. Otra de las variantes importantes del

matorral xerófilo encontrado en los sitios de muestreo es el matorral rosetófilo, el cual incluye principalmente a especies de los géneros *Agave*, *Dasylirion*, *Hechtia* y *Nolina*. Comúnmente este tipo de matorral se distribuye sobre cerros, en donde el suelo es rico en carbonato de calcio y forma un estrato subarborescente espinoso perennifolio (Rzedowski 1978); sin embargo, también se encontró sobre planicies, mezclado con otras especies principalmente de leguminosas.

En la zona de estudio se encontraron otros tipos de vegetación en una mínima proporción como pastizal, izotal, matorral crasicaule de *Opuntia leucotricha*, mezquitales y matorral submontano, casi siempre en presencia de alguno de los dos tipos de vegetación predominantes (Tabla 2).

Metodología

Trabajo de campo

Se trazó un transecto con orientación oeste-este en la región sureste del DC, cruzando por los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas (Figura 1). La distancia aproximada del transecto fue de 250 kilómetros lineales, a partir del punto de muestreo que se encontraba más al oeste hasta el último punto situado más al este. El transecto se limita en su extremo oeste por las planicies de Zacatecas, las cuales en su gran mayoría son áreas perturbadas. Mientras que en su extremo este se sitúa en los límites del DC dentro del estado de Tamaulipas. Esta distancia se calculó sobre los mapas de 1: 250,000 del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI; 1991) con la ayuda de un medidor de mapas (Silva Map Measurer with Magnifier).

Ya que la longitud total del transecto es de 250 km se procuró ubicar de manera sistemática sitios de muestreo con una distancia de aproximadamente 10 kilómetros entre cada uno de ellos. Se procuró que fueran sitios poco perturbados. En algunas ocasiones, por la presencia de terrenos de uso agrícola, zonas muy perturbadas o poblados, los muestreos se realizaron a una distancia menor o no fueron realizados. En total se muestrearon 23 sitios localizados en los municipios de Mazapil y El Rucio en Zacatecas, Catorce y Matehuala en San Luis Potosí, Dr. Arroyo y Aramberri en Nuevo León, y Jaumave, Palmillas y Miquihuana en Tamaulipas (Tabla 2). Se realizaron 4 salidas

Tabla 2. Sitios de muestreo.

Sitio	Estado Municipio	Localidad	Coordenadas	Altitud msnm	Tipo de vegetación y de suelo	No de especies de cactáceas
1	Zac., El Rucio	Cerros a 7.6 km al SE de 1° de mayo.	23° 45' 5"N 101° 3' 18"W	2240	Mat. <i>Larrea</i> en planicie. Mat. rosetófilo de <i>Agave</i> sp. con <i>Fouquieria splendens</i> en laderas. Roca caliza.	20
2	Zac., Mazapil	A 10 km al E de Puerto de Sigala.	23° 49' 26"N 101° 2' 13"W	2145	Izotal con pastizal alterado. Roca caliza y roca volcánica.	10
3	S.L.P., Catorce	A 1.5 km al S de Castañón sobre brecha hacia La Lagunita	23° 48' 53"N 101° 15' 4"W	1925	Mat. de <i>Larrea</i> con <i>Yucca</i> spp. Planicie aluvial calcárea	13
4	S.L.P., Catorce	A 7 km al W de Tanque de Dolores.	23° 39' 56"N 101° 12' 4"W	2015	Mat. de <i>Larrea</i> con <i>Yucca</i> spp. en planicie. Mat. rosetófilo de <i>A. lechuguilla</i> y <i>Yucca</i> en laderas. Roca calcárea	17
5	S.L.P., Catorce	A 15.5 km al W de Estación Catorce hacia Tanque de Dolores	23° 39' 27"N 101° 8' 22"W	1915	Mat. de <i>Larrea</i> en planicie. Mat. crasicaule de <i>Opuntia leucotricha</i> con <i>Fouquieria splendens</i> en cerro. Sedimento aluvial calcáreo y roca volcánica	19
6	S.L.P., Catorce	A 6 km al W de Estación Catorce hacia Tanque de Dolores	23° 40' 9"N 101° 2' 40"W	1815	Mat. de <i>Larrea</i> . Planicie aluvial calcárea	13
7	S.L.P., Catorce	A 11 km al S del entronque de la carr. San Tiburcio-Matehuala hacia Real de Catorce por camino empedrado	23° 45' 9"N 100° 50' 13"W	2295	Mat. de <i>Larrea</i> en planicie. Mat. rosetófilo de <i>A. lechuguilla</i> en laderas. Roca caliza	19
8	S.L.P., Matehuala	8.5 km al E de Matehuala por la carretera a Dr. Arroyo, 1 km al N por terracería, lomas al E del camino	23° 42' 14"N 100° 32' 9"W	1600	Mat. rosetófilo de <i>A. lechuguilla</i> y <i>Hechtia</i> . Roca caliza.	15
9	N.L., Doctor Arroyo	30 km al E de Matehuala por la carretera a Dr. Arroyo, en las lomas al S de la carretera	23° 41' 6"N 100° 21' 12"W	1710	Mat. de <i>Larrea</i> con <i>Prosopis</i> y <i>Yucca</i> spp. en valle. Mat. rosetófilo de <i>A. lechuguilla</i> y <i>Nolina</i> en lomas. Roca caliza.	21
10	N.L., Doctor Arroyo	8.5 km al NE de Dr. Arroyo hacia Aramberri, loma al W de la carretera.	23° 43' 50"N 100° 7' 14"W	1890	Mat. rosetófilo de <i>Nolina</i> , <i>Dasylirion</i> y <i>Yucca</i> . Roca caliza.	16
11	N.L., Doctor Arroyo	A 30 km de Dr. Arroyo por la carretera a Aramberri, 3 km de terracería a la Zorra, lomas al W	23° 55' 20"N 100° 4' 30"W	1695	Mat. de <i>Larrea</i> con <i>Prosopis</i> en planicie. Mat. rosetófilo de <i>A. lechuguilla</i> , <i>Hechtia</i> y <i>Dasylirion</i> . Roca caliza	30
12	N.L., Doctor Arroyo	A 20.8 km al NE de Dr. Arroyo, lomas al E de la carretera	23° 49' 42"N 100° 3' 27"W	1760	Mat. rosetófilo de <i>A. lechuguilla</i> , <i>A. stricta</i> , <i>Hechtia</i> , <i>Dasylirion</i> y <i>Yucca</i> . Roca caliza.	22
13	N.L. *				Mat. de <i>Larrea</i> en planicie. muy poco. Dominaba mat. rosetófilo de <i>Dasylirion</i> , <i>Yucca</i> y <i>A. lechuguilla</i> . Roca caliza y yeso.	20
14	Tamps., Miquihuana	A 19 km a. W de Miquihuana por brecha, delante de La Perdida, lomas al N del camino.	23° 33' 3"N 99° 54' 37"W	1675	Mat. rosetófilo de <i>Dasylirion</i> , <i>A. lechuguilla</i> y <i>Hechtia</i> . Roca caliza.	21
15	Tamps., Miquihuana	Los Uvales, en las lomas al W de los Uvales	23° 34' 31"N 99° 52' 22"W	1590	Mat. rosetófilo de <i>Dasylirion</i> , <i>A. lechuguilla</i> y <i>Hechtia</i> . En planicie <i>Larrea</i> con <i>Yucca</i> spp. y <i>Prosopis</i> . Roca caliza.	21
16	N.L., Aramberri	12 km al S de Aramberri por la carretera a Zaragoza, 700 m por camino de terracería, cerros al W de la carretera	24° 00' 33"N 99° 49' 7"W	1650	Mat. de <i>Prosopis</i> y <i>Yucca</i> spp. en partes planas. Mat. rosetófilo de <i>A. lechuguilla</i> y <i>Hechtia</i> en laderas. Roca caliza.	16
17	Tamps., Miquihuana	A 3.3 km al SW de Miquihuana, por terracería al ejido La Perdida, lomas al N del camino.	23° 33' 15"N 99° 47' 40"W	2145	Mat. rosetófilo de <i>Nolina</i> y <i>Dasylirion</i> . Roca caliza	15
18	Tamps., Palmillas	A 9 km del entronque de la carr. Jaumave-Palmillas a Miquihuana, lomas al W de la carretera.	23° 22' 40"N 99° 37' 13"W	1705	Mat. de leguminosas, con mat. rosetófilo de <i>Hechtia</i> , <i>A. lechuguilla</i> y <i>Nolina</i> . Roca caliza.	16
19	Tamps., Jaumave	A 5 km al NW del Ejido Magdalena Agullar, lomas al W del camino	23° 29' 59"N 99° 35' 15"W	1605	Mat. rosetófilo de <i>Dasylirion</i> , <i>Nolina</i> y <i>A. lechuguilla</i> con leguminosas. Roca caliza con suelo negro	12
20	Tamps., Palmillas	A 5 km al S de Palmillas, por terracería a 6 de Abril, cerros al E del camino	23° 15' 38"N 99° 31' 18"W	1405	Mat. submontano con gran cantidad de leguminosas. Roca caliza	14
21	Tamps., Jaumave	A 5 km al NE de Matas García	23° 27' 5"N 99° 27' 54"W	1135	Mat. rosetófilo de <i>Hechtia</i> y <i>A. lechuguilla</i> con leguminosas. Roca caliza	17
22	Tamps., Jaumave	A 1.1 km al NW por brecha al Ejido La Unión, al entronque se encuentra sobre la carretera Jaumave - Ciudad Victoria	23° 30' 31"N 99° 21' 28"W	765	Mat. con <i>Prosopis</i> , <i>Acacia</i> y <i>A. lechuguilla</i> . Roca caliza.	13
23	Tamps., Jaumave	A 4.6 km al SE de San José de Salamanca	23° 26' 14"N 99° 16' 49"W	710	Selva baja caducifolia, mat. de leguminosas y mat. rosetófilo de <i>Hechtia</i> en partes rocosas. Roca caliza con suelo negro	17

*Se omitió información para proteger especie rara

al campo y se recorrieron de una a dos localidades por día. Todas las localidades se ubicaron por medio del Sistema Posicionador Global (Magellan GPS NAV 5000 PRO) y en las cartas topográficas escala 1: 250,000 del INEGI (1991). En cada sitio de muestreo se recorrió una distancia aproximada de 3 km, la cual fue medida con ayuda de un pedómetro digital (Saffy Step Pedometer by Precise) y por medio del GPS. Durante cada uno de los recorridos se procuró registrar la totalidad de las especies de cactáceas del área y se colectaron uno o dos ejemplares de cada una de ellas dependiendo del tamaño de las poblaciones. Para la identificación de los ejemplares se utilizó el sistema de clasificación propuesto por Hunt (1999) con algunas modificaciones. En los muestreos no se tomaron en cuenta especies cultivadas.

Procesamiento de material botánico

Toda la información generada a partir del trabajo de campo fue incluida en la Base de Datos de Cactáceas de Norte y Centro América, desarrollada en el Laboratorio de Cactología del Instituto de Biología, UNAM (Hernández *et al.* 1993). Se herborizaron un total de 406 ejemplares, por medio del secado en hornos de aire forzado. Posteriormente fueron etiquetados para ser depositados en la colección del Herbario Nacional de México (MEXU); algunos ejemplares se preservaron en alcohol para ser anexados a la colección fijada en formol, alcohol y agua (FAA) del MEXU, mientras que otros fueron incluidos en la colección del invernadero de cactáceas del Instituto de Biología, UNAM.

Análisis de los datos

Frecuencia relativa

Con el fin de conocer la reincidencia de cada una de las especies a lo largo del transecto, se calculó su frecuencia relativa (f) por medio de la siguiente fórmula:

$$f = \frac{\text{número de sitios en que aparece una especie}}{\text{número total de sitios}}$$

Diversidad α

La diversidad α se define como el número total de especies encontradas en un área y es equivalente a lo que habitualmente se conoce como riqueza de especies

(Shmida y Wilson 1985). En este estudio se refiere al total de especies de cactáceas presentes en un sitio de muestreo.

Diversidad β

La diversidad β nos permite calcular el recambio de especies de un sitio de muestreo a otro, haciendo una comparación cualitativa de las especies encontradas dentro de una comunidad con respecto a otra. De esta forma, podemos conocer la heterogeneidad de las diferentes comunidades en cuanto a su composición de especies, es decir, qué tan similar o diferente es un conjunto de muestras en términos de variedad (Magurran 1988). Se utilizó la fórmula para calcular la diversidad β propuesta por Wilson y Schmida (1984).

$$\beta = (a + b) / 2 \bar{\alpha}$$

en donde:

β = diversidad β

a = número de especies nuevas o ganadas entre dos comunidades

b = número de especies perdidas entre dos comunidades

$\bar{\alpha}$ = número promedio de especies entre dos comunidades

El valor de β es igual a 1 cuando el recambio de especies es total entre las dos comunidades muestreadas. Si las comunidades son idénticas en cuanto a composición de especies es valor de β es 0.

Promedio de diversidad β

Este promedio se calculó sumando todos los valores de diversidad β obtenidos para un sitio al ser comparado con el resto y dividiéndolo entre el número total de localidades menos uno.

Índice de Jaccard

Uno de los índices más utilizados para conocer la similitud florística o faunística entre comunidades es el de Jaccard (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974). Para complementar el análisis de diversidad β se calculó dicho índice, el cual refleja la

similitud de cada uno de los sitios muestreados con base en la presencia y ausencia de especies, tomando en cuenta el número de especies que se comparten entre dos comunidades y el número total de especies (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974). Se hizo un análisis por columnas en el que se comparan las especies de cada una de las localidades. A partir de estos datos se obtuvo un fenograma, el cual muestra qué comunidades son más parecidas en cuanto a composición de especies. Cuando dos comunidades son iguales el índice es 1 y cuando éstas no comparten ninguna especie el valor es 0 (Magurran 1988). Para calcular los valores del índice de Jaccard se utilizó el programa Numerical Taxonomy and Multivariate System versión 2.10 p de Exeter Software (No de serie UH3071IX). En el cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_j = i / (a+b) - i$$

en donde:

C_j = índice de Jaccard

i = número de especies compartidas entre un par de sitios

a = número de especies de la comunidad a

b = número de especies de la comunidad b

Resultados y Discusión

Riqueza de especies

A lo largo del transecto se encontraron un total de 63 taxa de cactáceas, 61 especies y 2 subespecies, incluidas en 19 géneros (Apéndice). Como representantes de la subfamilia *Opuntioideae*, sólo se encontraron especies pertenecientes al género *Opuntia*. Los 18 géneros restantes se distribuyen en diferentes tribus de la subfamilia *Cactoideae*. Dentro del listado existen ejemplares que no fue posible determinar hasta el nivel de especie, correspondientes a los géneros *Opuntia* y *Stenocactus*.

En cuanto a la composición taxonómica, la Figura 2 muestra una distribución heterogénea de las especies. Los géneros mejor representados son *Opuntia* con 17 especies (28%) y *Mammillaria* con 11 especies (18%), conteniendo en conjunto el 46%

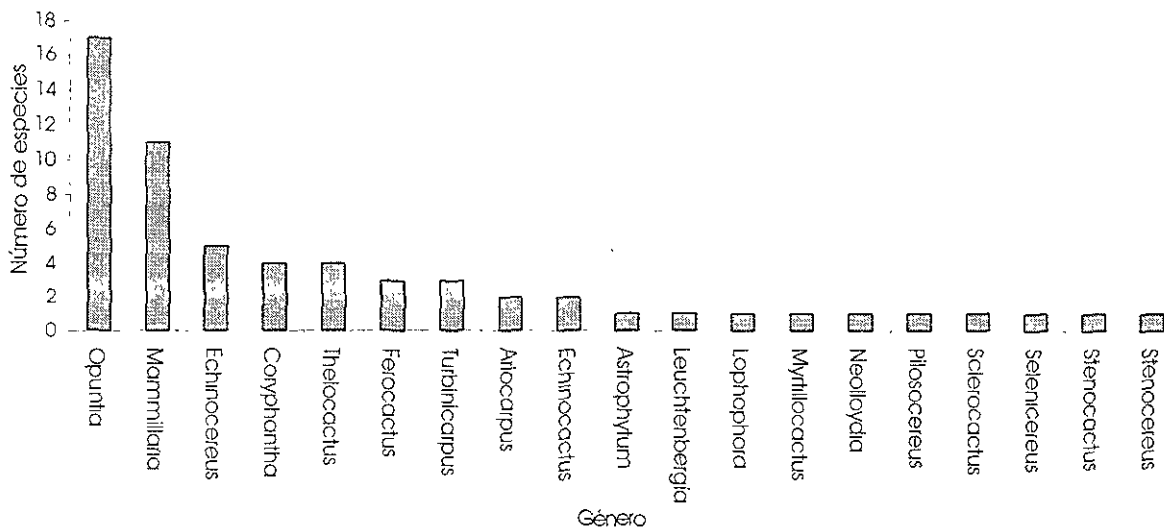


Figura 2. Distribución taxonómica de las especies registradas a lo largo del transecto.

de las especies. Estos datos son congruentes con los obtenidos por Gómez-Hinostrosa y Hernández (2000) para la región de Mier y Noriega, situada también en el sureste del DC. De acuerdo con el análisis florístico de Mier y Noriega son estos dos géneros los que cuentan con el mayor número de especies; el primero con 14 (25%) y el segundo con 8 (14.3%), lo que representa el 39.3% de un total de 56 especies de cactáceas. No obstante, estos resultados contrastan con los reportados por Bárcenas (1999) para la Zona Árida Queretano-Hidalguense ya que la riqueza dentro de estos géneros se invierte. Para el estado de Guanajuato este autor reporta un total de 92 especies, de las cuales *Opuntia* presenta 17 especies (18.5%) y *Mammillaria* 35 especies (38%), lo que corresponde al 56.5% de la totalidad de especies. Con base en esto, se deduce que *Opuntia* y *Mammillaria* son los géneros mejor representados en el DC. *Opuntia* para el cuerpo principal del DC y *Mammillaria* en la región sur del DC, incluyendo la zona Árida Queretano-Hidalguense. Cabe resaltar que *Opuntia* y *Mammillaria* son los géneros de cactáceas que en México cuentan con el mayor número de especies, 94 y 139 respectivamente (Hunt 1999). Por otro lado, se hallaron diez géneros que presentan una sola especie: *Astrophytum*, *Lophophora*, *Myrtillocactus*, *Pilosocereus*, *Sclerocactus*, *Selenicereus*, *Stenocactus* y *Stenocereus*, incluyendo a *Leuchtenbergia* y *Neolloydia*, géneros monotípicos.

Como resultado de los muestreos se obtuvo el valor de diversidad α o riqueza de especies por comunidad (Figura 3). Los valores más altos se registraron en la parte central del transecto, en el sitio 11 con 30 especies; le sigue el sitio 12 con 22 especies y por último las localidades 9, 14 y 15 con 21 especies. En la Tabla 3, se visualiza el patrón de riqueza en los diferentes sitios muestreados, así como la distribución de las especies a lo largo del transecto. Podemos notar que algunas especies, tales como *Echinocactus horzonthalonius* y *Sclerocactus uncinatus*, tienden a aparecer en las localidades situadas más al oeste, mientras que otras, como *Stenocereus griseus* y *Pilosocereus leucocephalus*, se localizan hacia el este del transecto.

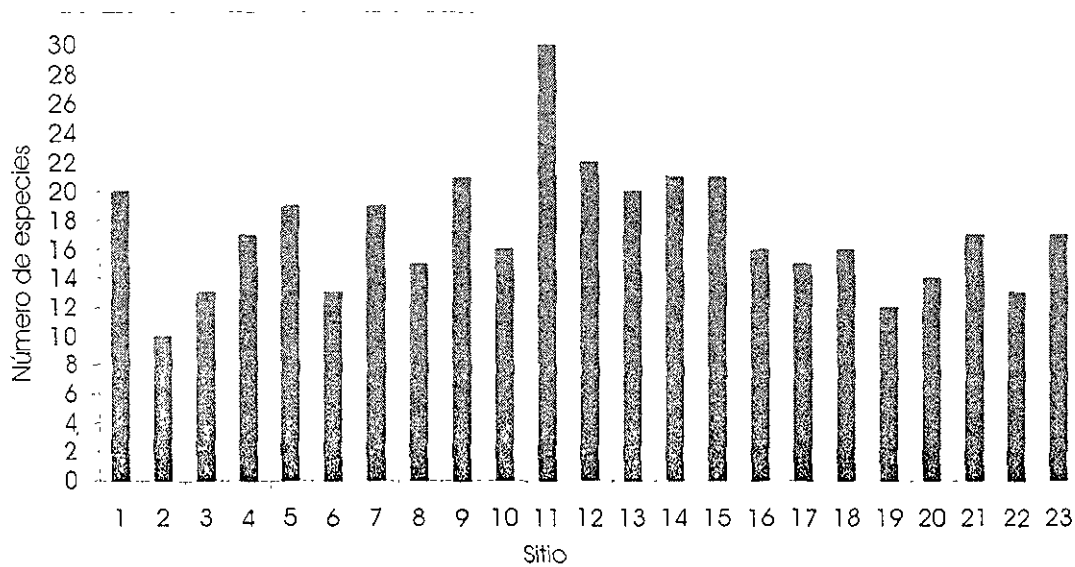


Figura 3 Variación en la riqueza de especies a lo largo del transecto.

Algunas otras especies (p. ej., *Thelocactus bicolor* y *T. tulensis*) se reparten únicamente en la parte central del transecto, sin aparecer en los extremos. Destacan en este sentido algunas especies cuya distribución es extremadamente restringida a lo largo del transecto (p. ej., *Ariocarpus kotschoubeyanus* y *Turbiniocarpus subterraneus*). Esta repartición de las especies favorece que los sitios más centrales del muestreo contengan un mayor número de estas, ya que algunas de las especies de ambos extremos se traslapan (véase Tabla 3). Es probable que estos sitios representen una zona de transición florística (Shmida y Wilson 1985) para la familia de las cactáceas, favoreciendo el incremento de la diversidad α .

Tabla 3. Riqueza de cada uno de los sitios de muestreo y distribución de las especies a lo largo del transecto. Los cuadros sombreados indican la presencia de la especie en un sitio determinado.

Localidad / especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<i>Echinocactus horizonthaiolus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Scierocactus uncinatus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Echinocereus pectinatus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia rastrera</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Echinocereus enneacanthus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria heyderi</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Thelocactus hexaedrophorus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Lophophora williamsi</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia streptacantha</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Thelocactus bicolor</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Thelocactus tujensis</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Turbnicarpus pseudopectinatus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Leuchtenbergia principis</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Echinocereus cinerascens</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria albicoma</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Echinocereus parkeri</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Thelocactus conocheilos</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria picta</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ferocactus echidne</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria roseodoba</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia tomentosa</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Pilosocereus leucocephalus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Stenocereus griseus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia engelmannii</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia stenopetala</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia imbricata</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia leptocaulis</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia funicifera</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria formosa</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Coryphantha palmeri</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Echinocereus pentaloophus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Neolloydia conolida</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Coryphantha bergeriana</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ariocarpus retusus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria candida</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ferocactus pilosus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia microdasys</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ferocactus hamatacanthus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia kleiniae</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Stenocactus sp.</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia leucotricha</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria magnimamma</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia sp.</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Coryphantha macromeris</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia villosa</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia robusta</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Turbnicarpus subterraneus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Astrophytum myriostigma</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Turbnicarpus schmidtdiokeanus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia lasiocantha</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Coryphantha villarensis</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria metaleuca</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia megarrhiza</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria proliera</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Solenicereus boeckmanii</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria kilsingiana</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Mammillaria baumii</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Myrtillocactus ucumetetrans</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Opuntia pubescens</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Número total de especies	20	16	13	17	19	12	19	18	21	16	19	22	23	21	21	16	15	16	12	14	17	13	17

La ubicación geográfica de los sitios con diversidades α más elevadas (sitios 9 al 15) coincide con la región del Huizache (22° 30' -23° 00' y los 100° 00'-100° 30'), la cual es considerada como un "hot-spot" de cactáceas (Hernández *et al.* 2001), y con la región de Mier y Noriega (23° 00'-23° 30' y los 100° 00'-100° 30') en donde también existe una gran diversidad de estas plantas (Gómez-Hinostrosa y Hernández 2000). Tomando en cuenta esta información y la obtenida por Hernández y Bárcenas (1995) acerca de la tendencia de las especies amenazadas a distribuirse hacia la porción este y sureste del DC, se podría suponer que esta región del DC pudiera ser un corredor de cactáceas que se extiende hacia el noroeste hasta el paralelo 25°, a la altura de la Sierra de Parras. El efecto de esta cadena montañosa como una barrera biogeográfica fue sugerida previamente por Hernández *et al.* (2001).

Frecuencia relativa de las especies

En la Figura 4, está representada la frecuencia relativa de cada una de las especies en los muestreos (véase también el Apéndice). En total existen 17 valores de frecuencia relativa para las 61 especies. Se observa que 27 especies (44.3%) quedan por arriba del valor medio (28.3%) de las frecuencias. Resulta notable que el 52.5% de las especies se registraron tres veces o menos a lo largo del transecto ($f=13-4.4\%$). Este patrón es un claro reflejo de la distribución marcadamente restringida y/o discontinua de las cactáceas en el DC (véase Tabla 3).

Los valores de frecuencia más altos corresponden a *Opuntia engelmannii* (95.6%), *O. stenopetala* (82.6%), *O. imbricata* y *O. leptocaulis* (78.3%; Figura 4). Como complemento de lo anterior, en la Tabla 3 se aprecian las diferentes tendencias en que se reparten las especies a lo largo del transecto. Se puede observar que las cuatro especies arriba mencionadas son las que presentan una distribución casi continua a lo largo del transecto.

El género *Opuntia* se distribuye ampliamente en todo el Continente Americano (Gibson y Nobel 1986). Las cuatro especies mencionadas en el párrafo anterior tienen una distribución que va desde el sur de los Estados Unidos en Arizona, Nuevo México y Texas hasta Guanajuato, Hidalgo y Querétaro, pasando por los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Durango, Tamaulipas y Zacatecas. Una posible explicación del por qué estas especies presentan las frecuencias más altas en los muestreos, es su gran habilidad para reproducirse sexual y asexualmente. Además de la

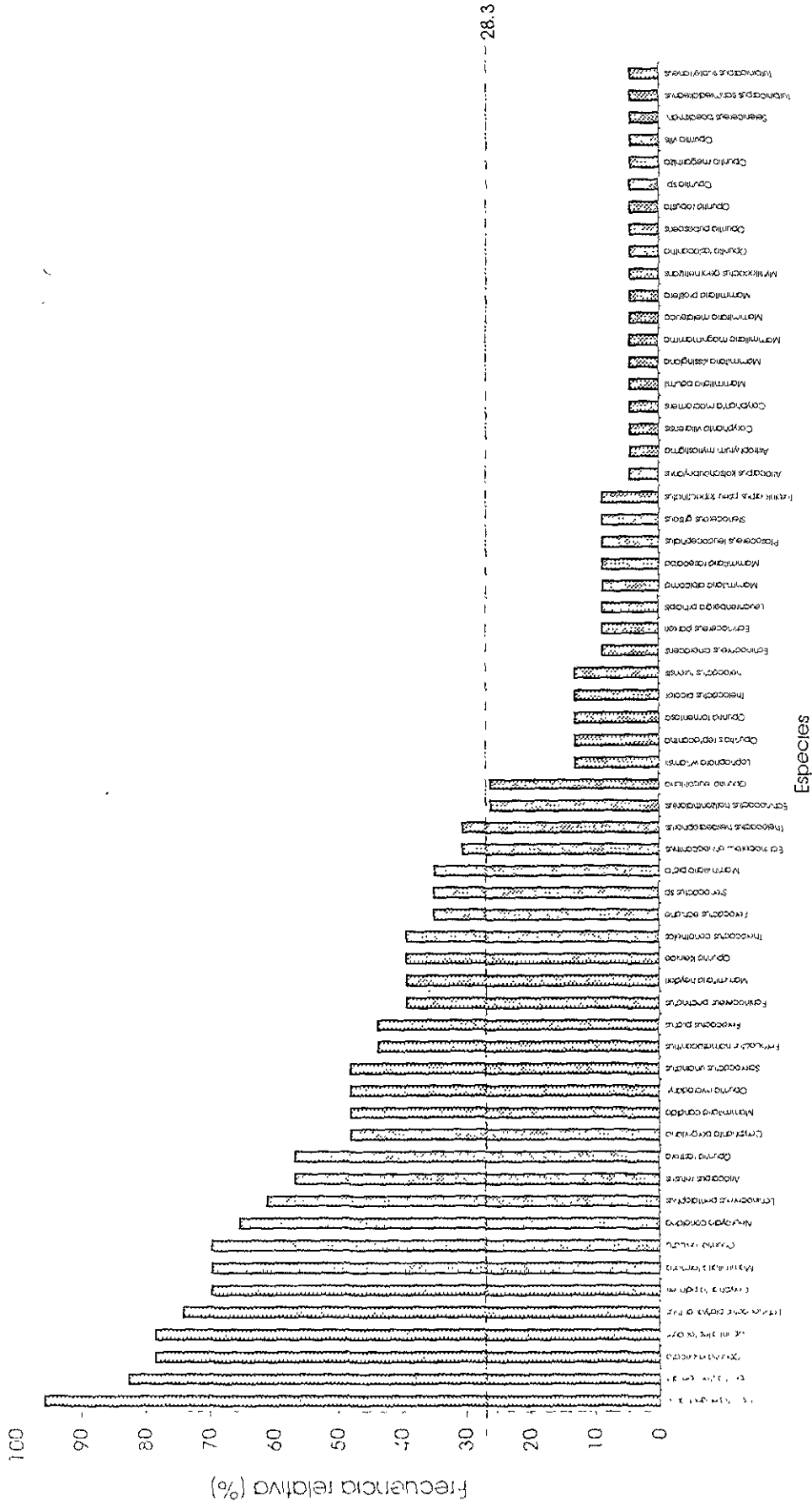


Figura 4. Frecuencia de aparición de las especies a lo largo del transecto. La línea punteada indica el valor medio de las frecuencias

reproducción por semillas, en *Opuntia* es común que los artículos y en algunas ocasiones los frutos que caen al suelo enraícen dando origen a una nueva planta (Johnson 1918, Bravo-Hollis 1978, Palleiro 2001). Estos mecanismos de reproducción en conjunto les confiere una obvia ventaja en cuanto a su capacidad de dispersión y establecimiento; las semillas comúnmente son dispersadas por medio de animales como pájaros, roedores y hormigas que las transportan a distancias relativamente largas, mientras que los artículos (principalmente de las cilindropuntias) son acarreados por el ganado y por otros mamíferos (coyotes, liebres, zorras; González-Espinosa y Quintana-Ascencio 1986, Bregman 1988). Esto permite el reclutamiento de nuevas plantas, así como la extensión gradual de su distribución (Gibson y Nobel 1986).

Para *Echinocactus platyacanthus* se observa un valor de frecuencia de 73.9% (Figura 4). Esta especie cuenta con una distribución similar a la de las especies antes mencionadas, pero se extiende hasta Tehuacán, Puebla (véase Fig. 6 en Gómez-Hinostrosa y Hernández 2000). *Echinocactus platyacanthus*, junto con *Ferocactus histrix*, es la cactácea toneliforme más abundante y de más amplia distribución en México (Del Castillo y Trujillo 1991). Sin embargo, no se conocen los mecanismos de dispersión de las semillas de esta especie. En la Tabla 3 se encuentra formando parte del conjunto de especies de distribución casi continua.

En el otro extremo de la Figura 4, encontramos a las especies con las frecuencias relativas más bajas ($f=4.4\%$), que son las que se hallaron una sola vez en todo el muestreo. Este grupo incluye al 31.2% de las especies. La baja frecuencia en algunas de éstas se puede explicar en parte por las características de los frutos. Especies como *Astrophytum myriostigma*, y *Turbinicarpus schmidickeanus* tienen frutos secos y poco atractivos a dispersores potenciales, además de que en ocasiones se encuentran ocultos entre los tubérculos, lo cual no favorece su dispersión. Este patrón también se puede explicar, en parte, por su distribución restringida, como el caso de *Turbinicarpus subterraneus*, el que únicamente se ha registrado en dos localidades del estado de Nuevo León. Así mismo, *Mammillaria melaleuca*, *M. klissingiana* y *M. picta* var. *viereckii* se han registrado en unas cuantas localidades disjuntas en el estado de Tamaulipas (datos obtenidos de la Base de Datos de Cactáceas de Norte y Centro América del Instituto de Biología, UNAM).

Un factor adicional que ayuda a explicar la baja frecuencia de algunas especies, es el hecho de que se localizaron cerca de o en los márgenes de su área de

distribución. *Coryphantha macromeris*, por ejemplo, ubica su área de distribución en el segmento norte del DC, y es claro que la población registrada en este estudio corresponde a su límite sur. Es probable además que la baja frecuencia pueda ser el resultado de la reciente introducción voluntaria o involuntaria de algunas especies en el área (p. ej., *O. megarrhiza*, *O. robusta* y *O. lasiacantha*). Cabe mencionar que el 65% de las especies que reportan baja frecuencia se encontraron en Tamaulipas, y que dentro del mismo estado los sitios de muestreo 20 y 23 presentan cada uno el máximo de especies de este tipo (cuatro).

Diversidad β

Se calcularon los valores de diversidad β para cada par de sitios de muestreo (Tabla 4). Para tal efecto, se hizo una comparación entre sitios contiguos y también entre todas las comunidades entre sí. Dado que los sitios se enumeraron conforme al gradiente longitudinal en el que se encontraban, y el transecto se bifurca, la secuencia de los números no concuerda del todo con la posición de las localidades más cercanas. Tomando en cuenta esto, para realizar el primer análisis (entre sitios contiguos), se estableció cuáles eran los sitios más próximos entre sí.

En todos los casos los valores de diversidad β fueron mayores a 0, siendo 0.12 el más bajo, lo que nos indica que no hay comunidades idénticas en cuanto a su composición florística. Así mismo, no hay un recambio total de las especies, ya que ninguno de los valores llegó a uno. Aún contemplando a los sitios más alejados, el valor más elevado fue de 0.93, lo que refleja que se comparte por lo menos una especie.

Del análisis entre comunidades contiguas los sitios 6-7 fueron los que presentaron una diversidad β más alta ($\beta=0.56$). Un factor que podría estar contribuyendo a esto es la presencia de la Sierra de Catorce. El muestreo 6 se realizó del lado oeste de esta sierra, sobre una planicie aluvial calcárea, en donde dominaba el matorral de *Larrea*, mientras que el muestreo del sitio 7 se hizo en una de las porciones bajas de la sierra, en su extremo este, en donde además de la planicie, se alcanzó a muestrear una porción de ladera, con suelo rocoso calcáreo, en donde se encontró matorral rosetófilo. Es bien sabido que la diversidad de hábitats es un factor determinante en la diversidad de las especies, lo cual se refleja al evaluar la diversidad β (Shmida y Wilson 1985). Es por esto,

Tabla 4. Valores de diversidad beta e índice de similitud de Jaccard entre los sitios muestreados (valores por arriba y por debajo de la diagonal respectivamente). Los valores en la diagonal (subrayado) corresponden a la riqueza.

Beta/Cj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	<u>20</u>	0.47	0.27	0.24	0.33	0.52	0.28	0.38	0.22	0.50	0.32	0.19	0.35	0.37	0.32	0.56	0.54	0.61	0.63	0.82	0.46	0.52	0.78
2	0.36	<u>10</u>	0.39	0.41	0.59	0.48	0.45	0.68	0.42	0.69	0.55	0.50	0.40	0.68	0.61	0.85	0.76	0.85	0.73	0.75	0.78	0.74	0.85
3	0.57	0.53	<u>13</u>	0.47	0.31	0.38	0.56	0.71	0.41	0.72	0.49	0.49	0.52	0.47	0.53	0.72	0.93	0.88	0.84	0.85	0.60	0.69	0.80
4	0.61	0.35	0.36	<u>17</u>	0.50	0.60	0.28	0.44	0.21	0.39	0.36	0.23	0.30	0.37	0.26	0.52	0.50	0.64	0.72	0.81	0.59	0.53	0.82
5	0.50	0.26	0.52	0.33	<u>19</u>	0.44	0.42	0.59	0.40	0.54	0.39	0.41	0.54	0.35	0.40	0.60	0.76	0.71	0.74	0.82	0.50	0.56	0.78
6	0.32	0.35	0.44	0.25	0.39	<u>13</u>	0.52	0.71	0.53	0.59	0.49	0.54	0.58	0.59	0.47	0.79	0.98	0.88	0.84	0.78	0.67	0.62	0.73
7	0.56	0.38	0.28	0.57	0.41	0.28	<u>19</u>	0.45	0.30	0.37	0.35	0.22	0.28	0.40	0.35	0.49	0.41	0.60	0.55	0.70	0.50	0.44	0.72
8	0.46	0.19	0.17	0.39	0.26	0.17	0.48	<u>15</u>	0.44	0.36	0.38	0.35	0.43	0.44	0.44	0.42	0.27	0.35	0.41	0.66	0.56	0.57	0.69
9	0.64	0.41	0.42	0.65	0.43	0.31	0.54	0.50	<u>21</u>	0.35	0.25	0.12	0.32	0.33	0.24	0.51	0.44	0.51	0.64	0.71	0.45	0.53	0.74
10	0.33	0.18	0.16	0.43	0.30	0.26	0.46	0.48	0.48	<u>16</u>	0.43	0.37	0.39	0.51	0.30	0.44	0.42	0.44	0.64	0.67	0.64	0.59	0.76
11	0.52	0.29	0.34	0.47	0.44	0.34	0.48	0.45	0.59	0.39	<u>30</u>	0.23	0.32	0.29	0.25	0.43	0.47	0.57	0.57	0.68	0.49	0.53	0.70
12	0.62	0.33	0.35	0.63	0.41	0.30	0.64	0.48	0.79	0.46	0.63	<u>22</u>	0.29	0.35	0.30	0.47	0.41	0.53	0.59	0.67	0.44	0.49	0.69
13	0.48	0.43	0.32	0.54	0.30	0.27	0.56	0.40	0.52	0.44	0.52	0.56	<u>20</u>	0.41	0.37	0.50	0.49	0.67	0.63	0.76	0.62	0.58	0.78
14	0.44	0.19	0.36	0.46	0.48	0.26	0.43	0.38	0.50	0.32	0.55	0.48	0.41	<u>21</u>	0.29	0.35	0.44	0.62	0.64	0.71	0.42	0.47	0.68
15	0.52	0.24	0.31	0.58	0.43	0.36	0.48	0.38	0.62	0.54	0.59	0.54	0.46	0.56	<u>21</u>	0.51	0.44	0.57	0.70	0.77	0.53	0.47	0.74
16	0.29	0.08	0.16	0.32	0.25	0.12	0.35	0.41	0.32	0.39	0.39	0.36	0.33	0.48	0.32	<u>16</u>	0.48	0.44	0.50	0.60	0.45	0.45	0.70
17	0.30	0.14	0.04	0.33	0.13	0.08	0.42	0.58	0.38	0.41	0.36	0.42	0.35	0.38	0.38	0.35	<u>15</u>	0.35	0.41	0.66	0.56	0.57	0.69
18	0.24	0.08	0.07	0.22	0.17	0.07	0.25	0.48	0.32	0.39	0.28	0.31	0.20	0.23	0.28	0.39	0.48	<u>16</u>	0.36	0.47	0.52	0.59	0.58
19	0.23	0.16	0.09	0.16	0.15	0.09	0.29	0.42	0.22	0.22	0.27	0.26	0.23	0.22	0.18	0.33	0.42	0.47	<u>12</u>	0.46	0.45	0.52	0.59
20	0.10	0.14	0.08	0.11	0.10	0.13	0.18	0.21	0.17	0.20	0.19	0.20	0.13	0.17	0.13	0.25	0.21	0.36	0.37	<u>14</u>	0.55	0.56	0.48
21	0.37	0.13	0.25	0.26	0.33	0.20	0.33	0.28	0.36	0.22	0.34	0.39	0.23	0.41	0.31	0.38	0.28	0.32	0.38	0.29	<u>17</u>	0.20	0.41
22	0.32	0.15	0.18	0.30	0.28	0.24	0.39	0.27	0.31	0.26	0.30	0.35	0.27	0.36	0.36	0.38	0.27	0.26	0.32	0.29	0.27	<u>13</u>	0.40
23	0.12	0.08	0.11	0.10	0.13	0.15	0.16	0.19	0.15	0.14	0.18	0.18	0.12	0.19	0.15	0.18	0.19	0.27	0.26	0.35	0.42	0.43	<u>17</u>



Sitios
contiguos



Valores
más altos

Valores
más bajos

que las características ambientales que diferencian a estos sitios (6-7), pueden estar favoreciendo el establecimiento de determinadas especies distintivas de los ambientes en cuestión. Tal es el caso de las especies que son típicas de terrenos planos (p. ej., *Coryphantha macromeris* y *Lophophora williamsii*) que aparecen en el sitio 6 y no en el sitio 7, y las especies que comúnmente se localizan en terrenos con pendientes (p. ej., *Neolloydia conoidea*, *Ariocarpus retusus* y *Opuntia stenopetala*) que se hallaron en el sitio 7 mas no en el 6. El segundo valor más alto se registró entre las comunidades 4-5 y 13-16 con una diversidad β igual a 0.50. En estos sitios las condiciones del muestreo son muy similares incluyendo planicie y ladera en ambos. Sin embargo, el tipo de suelo es diferente entre las comunidades que se comparan (sitios 4-5 y 13-16; véase Tabla 2). Además de las diferencias ambientales (tipo de suelo), este valor de diversidad β se puede explicar en parte por la presencia de especies de distribución restringida, como *Turbincarpus subterraneus* y *T. pseudopectinatus*. Por otro lado, en estos dos pares de sitios, se registraron especies que son poco frecuentes en el transecto. Tal es el caso de *Mammillaria magnimamma* la cual, aunque tiene una amplia distribución en México, sólo se registró una vez en el transecto. Otras especies en la misma situación son *Lophophora williamsii*, *Opuntia streptacantha* y *Thelocactus tulensis*. Además de lo mencionado, otro factor que pudiera estar interviniendo en esto, en el caso de los sitios 13-16, es la presencia de la Sierra de San Francisco, ubicada en la fracción oeste de la Sierra Madre Oriental, en el sur de Nuevo León. Esta sierra pudiera estar actuando como una barrera biogeográfica, limitando la distribución de algunas especies como *Echinocereus pectinatus* y *Sclerocactus uncinatus* hacia el este y *Ferocactus echidne* hacia el oeste (véase Tabla 3).

Como era de esperarse, en el análisis realizado entre todas las comunidades entre sí, se observan valores de diversidad β más elevados que los encontrados entre las comunidades adyacentes (Tabla 4). Son los sitios 2, 3 y 6 los que presentan los valores más altos, principalmente al equipararlos con los sitios 16, 17 y 18. El valor más alto fue de 0.93 entre los sitios 3-17; le siguen los sitios 6-17, 3-18 y 6-18 con una diversidad β de 0.86 (Tabla 4). Estos cuatro pares de sitios, difieren en cuanto a sus características ambientales (p. ej., inclinación del terreno, tipo de suelo, etc.). Así mismo, en estos sitios encontramos especies propias de planicies (p. ej., *Echinocactus horizonthalonius* y *Mammillaria heyderi*) que no se establecen en condiciones de ladera y viceversa. Cabe mencionar que al comparar los sitios 3-17, en el primero de éstos se registran siete

especies de *Opuntia*, mientras que en el sitio 17 sólo se registra una, *O. tunicata*, siendo ésta la única especie que se comparte (Tabla 3). Por otro lado, llama la atención en estos mismos sitios (3-17), que salvo *Mammillaria albicoma*, no se observan especies de baja frecuencia. Sin embargo, en los otros tres casos (sitios 6-17, 3-18 y 6-18) la presencia de especies de baja frecuencia sí influye en el incremento de los valores de diversidad β .

En la Figura 5 se muestran los promedios de los valores de diversidad β de cada uno de los sitios, siendo las localidades 2, 3, 6, 19, 20 y 23 las que tienen los valores más altos. Cabe resaltar que los tres primeros (sitios 2, 3 y 6) son los que difieren del resto por ser planicies aluviales sin lomas.

Sólo uno de los sitios contiguos (4,8%) presenta una diversidad β mayor a la media ($\beta=0.52$), el resto se encuentra por debajo de este valor. Por otro lado, en lo que respecta al cálculo de diversidad β entre sitios no contiguos, el 48.2% sobrepasa o presenta valores iguales a 0.52, y el 51.8% restante se ubica por debajo de éste. Para los promedios de diversidad β el 52.2% está por encima del 0.52 y el 47.8% por debajo de este valor.

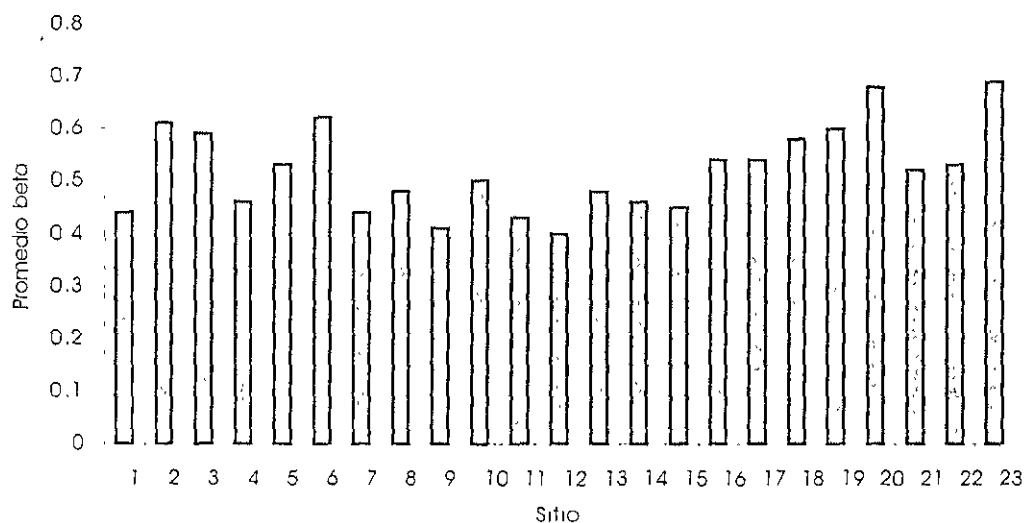


Figura 5. Promedio de diversidad β de cada sitio.

Mourelle y Ezcurra (1997) en un estudio sobre recambio de especies de cactáceas en Argentina, agrupan los valores de diversidad β en tres categorías: alta,

0.661-1.0, media, 0.331-0.66 y baja, 0-0.33. Si adoptamos este criterio en nuestro estudio, la mayor parte de los valores (76.2%) entre los sitios contiguos se ubican en la categoría media y el resto de éstos en la categoría baja. Sin embargo, al considerar los valores entre todos los sitios, el 24.1% de los valores quedan dentro de la categoría alta, mientras que el 64% en la categoría media y el 11.9% en la baja. En el caso de los promedios de diversidad β , bajo los mismos criterios, el 13% de los sitios queda dentro de la categoría alta y el 87% en la media y ninguno en la baja.

Índice de similitud florística de Jaccard

En la Tabla 4 se muestran los valores de similitud florística entre los sitios muestreados. En congruencia con lo observado en el análisis de diversidad β , no se observa ningún valor igual a 1, lo que nos indica que no hay comunidades que compartan el total de las especies. En el fenograma de la Figura 6 se puede apreciar la forma en la que se agrupan las comunidades de acuerdo con su similitud florística. Tomando en cuenta los valores del Coeficiente de Jaccard (C_j) superiores o iguales a 0.39, los sitios se agrupan en cuatro conjuntos. El primer conjunto, que es también el que contiene más sitios, incluye a 11 de las 23 comunidades, las cuales en su mayoría se encuentran en la porción oeste y media del transecto en parte de los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León. Dentro de este grupo sólo los sitios 14 y 15 se encuentran en la fracción este del transecto, en el estado de Tamaulipas (véase Fig. 1). El segundo grupo está formado por los sitios 2, 3 y 6, los cuales son las únicas comunidades que se ubican exclusivamente en planicies. Éstos se congregan en una rama del fenograma separada del resto, presentando valores de similitud de hasta 0.53 entre los sitios 2-3. Los últimos dos conjuntos se sitúan dentro del estado de Tamaulipas en la porción sureste del transecto. El primero de estos contiene sitios ubicados en el Este antes de llegar a su extremo (sitios 17, 18 y 19); también incluye al sitio 8 que se encuentra en la porción media del transecto. Por otro lado, los sitios que se encuentran en el extremo este forman un grupo separado y presentan valores de C_j de hasta 0.67. Los sitios 16 y 20, por otro lado, quedan aislados del resto. Una posible explicación a esto es que estos sitios se ubican en los extremos noreste y sureste respectivamente, y contienen varias especies poco frecuentes en el transecto (p. ej., *Echinocereus cineracens*, *Echinocereus parkeri*, *Mammillaria melaleuca*, *M. prolifera*, *Opuntia*

megarrhiza), siendo el sitio 20 uno de los dos sitios que más especies de este tipo contiene.

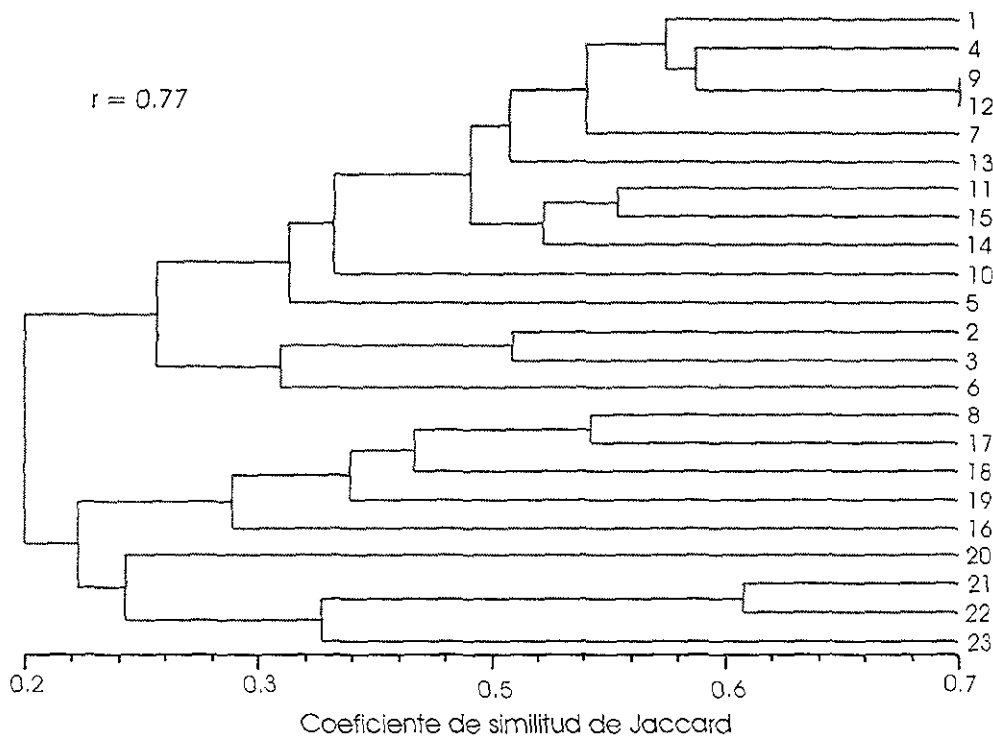


Figura 6. Fenograma obtenido de los coeficientes de similitud de Jaccard.

El valor de C_j más elevado fue de 0.79 entre las comunidades 9-12, que comparten 19 especies. Como era de esperarse, este par de comunidades son las que obtuvieron el valor de diversidad β más bajo ($\beta=0.12$) en el análisis entre todas las comunidades (Tabla 4). El valor que le sigue es de 0.67 entre los sitios 21-22, los cuales son adyacentes y comparten 12 especies. Coincidentemente, es este par de comunidades el que tiene el valor de diversidad β más bajo ($\beta=0.2$) en el análisis entre comunidades contiguas (Tabla 4). Los sitios más dispares florísticamente fueron el 3 con respecto al 17 ($C_j=0.04$), que sólo comparten una especie, y el 3-18 y 6-18 ($C_j=0.07$) que tiene dos especies en común. Estos tres pares de sitios presentan los valores de diversidad β más altos (Tabla 4).

Conclusiones

La zona de estudio contiene una alta diversidad de cactáceas, con un total de 63 taxa, en donde los géneros *Opuntia* y *Mammillaria* son los que aportan el mayor número de especies. Estos resultados junto con los de Pinkava (1984), Villareal (1994), Hernández y Gómez-Hinostrosa (2000) y Hernández *et al.* (2001) nos permiten confirmar que *Opuntia* y *Mammillaria* son los géneros mejor representados para el cuerpo principal del DC.

Podemos destacar que la mayoría de las especies presenta una baja frecuencia. El 52.5% de las especies presenta frecuencias por debajo del 13%. Sobresalen dentro de este grupo 19 especies (31.2%) que presentan una frecuencia de 4.4%, lo que equivale a aparecer una sola vez a lo largo del transecto; el 13.1% de las especies se presenta dos veces y el 8.2% se encontró tres veces a lo largo del transecto. Así mismo, el 65% de las especies de baja frecuencia se encontró en el estado de Tamaulipas, lo cual es congruente con lo reportado por Hernández y Bárcenas (1995), en cuanto a la tendencia de las especies amenazadas de distribución restringida a agruparse en la porción sureste del DC.

En lo que se refiere a la riqueza podemos concluir que los sitios que se encuentran en zonas que incluyen laderas y planicies, o que son ambientalmente heterogéneos, presentan valores de diversidad α más elevadas que los sitios con ambientes homogéneos. Además, el transecto comprende una zona de transición entre ensamblajes de cactáceas, lo que hace que la diversidad α aumente en los sitios centrales del muestreo. Esta información sugiere la existencia de un posible corredor de cactáceas que se extiende hacia el noreste del DC.

Las especies más frecuentes y de distribución continua a lo largo del transecto pertenecen al género *Opuntia*. La presencia de algunas de estas especies hace que la diversidad α aumente en algunos de los sitios, sin embargo, origina que la diversidad β disminuya ya que la diversidad de especies dentro de las comunidades de cactáceas se homogeneiza. Como era de esperarse, la diversidad β fue más elevada entre las comunidades alejadas que entre las contiguas. No se registraron comunidades idénticas ni tampoco comunidades con un recambio total de especies. Así mismo, los valores de diversidad β más altos se encontraron entre sitios con características ambientales más contrastantes. Tomando en cuenta esto, podemos aseverar que

existen diferentes factores que influyen en el incremento de los valores de diversidad β , como la heterogeneidad de los hábitats, la presencia de barreras biogeográficas (Sierra de Catorce, Sierra Madre Oriental) y la presencia de numerosas especies de distribución restringida que presentan una baja frecuencia. Los dos primeros factores favorecen a que haya una tendencia de las especies a distribuirse de una manera intermitente a lo largo del transecto.

Los valores de diversidad β obtenidos en este estudio son elevados. El alto recambio de especies entre las comunidades de cactáceas en esta zona del DC contribuye a la alta diversidad de esta familia. Sin embargo, esencialmente, la diversidad β observada es más un producto de la intermitencia espacial de las especies, que de un verdadero recambio. Probablemente la escala a la cual se trabajó nos permite observar este hábito en las cactáceas.

Acerca de la similitud florística, se esperaría que existiera una tendencia a que los sitios más cercanos se parecieran más entre sí. Sin embargo, llama la atención, que las comunidades con el valor de similitud más alto (0.79) no son contiguas.

Por último, gracias a este estudio se ingresó nueva información en la Base de Datos de Cactáceas de Centro y Norte América. Se enriqueció la colección de cactáceas del Herbario Nacional, así como las colecciones fijadas en FAA y en vivo del Instituto de Biología de la UNAM, contribuyendo de esta manera a un mejor conocimiento de la familia Cactaceae en el Desierto Chihuahuense para apoyar y fundamentar el interés de su conservación.

Referencias

- Anónimo. 1997. Declaratoria del Área Natural Protegida bajo la modalidad de Reserva Estatal con características de Reserva de la Biosfera, la región históricamente denominada "Real de Guadalcázar", ubicada en el Municipio del mismo nombre. Periódico Oficial del Gobierno de San Luis Potosí 80:1-12.
- Balvanera, P. 1999. Diversidad beta, heterogeneidad ambiental y relaciones espaciales de una selva baja caducifolia. Tesis de Doctorado. Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Postgrado. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 119 pp.
- Bárceñas, R.T. 1999. Patrones de distribución de cactáceas del estado de Guanajuato. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 25 pp.
- Bravo-Hollis, H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol. I Universidad Nacional Autónoma de México. México. 743 pp.
- Bregman, R. 1988. Forms of seed dispersal in Cactaceae. *Acta Bot. Neerl.* 37: 395-402.
- CITES. 1990. Appendices I, II and III to the Convention. U. S. Fish and Wildlife Service. Washington, D. C.
- Del Castillo, R. F. y S. Trujillo. 1991. Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the semiarid central Mexico: past, present and future. *Econ. Bot.* 45: 495-502.
- Dinerstein, E., D. Olson, J. Atchley, C. Loucks, S. Contreras-Balderas, R. Abell, E. Iñigo, E. Enkerlin, C.E. Williams y G. Castilleja. (eds.) 1999. *Ecoregion-based conservation in the Chihuahuan Desert: a biological assesment and biodiversity vision*. Compilado por WWF, CONABIO, PRONATURA e ITESM. Washington, D. C. 318 pp.
- García, E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Offset Larios. México. 217 pp.
- Gaston, K. y T.M. Blackburn. 2000. *Pattern and process in Macroecology*. Blackwell. Londres. 377 pp.
- Gibson, A. y P. S. Nobel. 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press. Massachusetts. 286 pp.
- Gómez-Hinostrosa, C. 1998. Diversidad, distribución y abundancia de cactáceas en la región de Mier y Noriega, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 49 pp.

- Gómez-Hinostrosa, C. y H. M. Hernández. 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, México. *Biodiversity and Conservation* 9: 403-418.
- González-Espinosa, M., P.F. Quintana-Ascencio. 1986. Seed predation and dispersal in a dominant desert plant: *Opuntia*, ants, birds, and mammals. In: A. Estrada and T.H. Fleming (eds.), *Frugivores and seed dispersal*. Dr W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Hernández, H. M., V. Alvarado y R. Ibarra. 1993. Base de datos de colecciones de cactáceas de Norte y Centroamérica. *Anal. Inst. Biol. Univ. Nac. México. Ser. Bot.* 4: 87-94.
- Hernández, H. M. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot. Mex.* 26: 33-52.
- Hernández, H. M. y R. T. Bárcenas. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert, Distribution patterns. *Conservation Biol.* 9: 1176-1190.
- Hernández, H. M. y R.T. Bárcenas. 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II Biogeography and Conservation. *Conservation Biol.* 10: 1200-1209.
- Hernández, H. M., C. Gómez-Hinostrosa, y R. T. Bárcenas, 2001. Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hot-spot in the Chihuahuan Desert. *Biodiversity and Conservation* 10: 1097-1112.
- Hunt, D. 1999. *CITES Cactaceae checklist*. Royal Botanic Gardens Kew –International Organization for Succulent Plant Study, Millborne Port. 315 pp.
- INEGI. 1988. *Atlas nacional del medio físico*. Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 224 pp.
- Johnson, D.S. 1918. *The fruit of Opuntia fulgida. A study of perennation and proliferation in the fruits of certain Cactaceae*. Carnegie Institution, Washington. 62 pp.
- Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Nueva Jersey. 179 pp.
- Macmahon, J. y F. Wagner. 1985. The Mojave, Sonoran and Chihuahuan deserts of North America. In: M. Evenari, I. Noy-Meier y D. Goodall (eds.) *Hot deserts and arid shrublands, ecosystems of the world*. Amsterdam.
- Martínez, J.G. y J. Jiménez. 1993. Las cactáceas del Valle de Jaumave. *Cact. Suc. Mex.* 38: 75-82
- Matuda, E. y D. Gold. 1956. La región cactífera de Matehuala. *Cact. Suc. Mex.* 1: 112-116.
- Meyran, J. y A. Meyran. 1972. Las cactáceas del estado de San Luis Potosí. *Cact. Suc. Mex.* 17: 105-109.

- Mittermeier, R. A., P. Robles-Gil, C. Goettsch (eds.) 1997. *Megadiversidad: los países biológicamente más ricos del mundo*. CEMEX. México. 500 pp.
- Mittermeier, R. A., N. Myer, P. Robles-Gil, C. Goettsch (eds.) 1999. *Hot Spots: earth biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX. México. 430 pp.
- Morafka, D. 1974. Is there a Chihuahuan Desert? A quantitative evaluation through a herpetofaunal perspective. In: R. H. Wauer and D. H. Riskind (eds.) *Transactions of the Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico*. National Park Service, Washington, D. C. 658 pp.
- Mourelle, C. y E. Ezcurra. 1997. Differentiation diversity of Argentine cacti and its relationship to environmental factors. *J. Veg. Sci.* 8: 547-558.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, Nueva York. 547 pp.
- Osorio, O., V., Vallente-Banuet, P. Dávila y R. Medina. 1996. Tipos de vegetación y diversidad β en el Valle de Zapotitlán, Puebla, México. *Bol. Soc. Bot. México* 59: 35-58.
- Palleiro, N. 2001. Propagación vegetativa a través de frutos abortados de *Opuntia microdasys* (Lehman) Pfeiffer, en el Desierto Chihuahuense. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 75 pp.
- Pinkava, D.J. 1984. Vegetation and flora of the Bolson of Cuatro Ciénegas region, Coahuila, Mexico: summary, endemism and corrected catalogue. *J. Arizona - Nevada Acad. Sci.* 19: 23-47.
- Rzedowski, J. 1956. Notas sobre la flora y la vegetación del estado de San Luis Potosí. III. egetación de la región de Guadalcázar. *Anal. Inst. Biol., Univ. Nal. México.* 27: 169-228.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México. 432 pp.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Bot. Mex.* 14: 3-21
- SEDESOL. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies de flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. *Diario Oficial de la Federación* No. 488: 2-59.
- Shmida, A. y M.V. Wilson. 1985. Biological determinants of species diversity. *J. Biogeogr.* 12: 1-20.

- Villareal, J. A. 1994. Flora vascular de la Sierra de la Paila, Coahuila, México. *Sida*. 16: 109-138.
- Walter, K. y H. Gillet. (eds.) 1998. 1997 *IUCN Red list of threatened plants*. Gland and Cambridge: Compiled by the World conservation Monitoring Center. UICN-the World Union. 862 pp.
- Wauer, R.H. y D. H. Riskind (eds.) 1974. *Transactions of the Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region United States and Mexico*. National Park Service. Estados Unidos de América. 658 pp.
- Whittaker, R.H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.* 30: 279-338.
- Whittaker, R.H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.
- Whittaker, R.H. 1973. Niche, habitat, and ecotope. *Amer. Natur.* 107: 321-338.
- Whittaker, R.H. 1977. Evolution of species diversity in land communities. *Evol. Biol.* 10: 1-67.
- Wilson, M.V. y A. Shmida. 1984. Measuring beta diversity with presence- absence data. *J. Ecol.* 12: 1055-1064.

Apéndice. Listado de especies y colección de referencia. Todos los especímenes fueron depositados en MEXU.

Especie	Referencia	Frecuencia %
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> (Lemaire) Schumann	B.Goettsch C. 99	4.4
<i>Ariocarpus retusus</i> Scheidweiler	B.Goettsch C. 1	56.5
<i>Ariocarpus retusus</i> ssp. <i>trigonus</i> (Weber) Anderson et Fitz Maurice	B.Goettsch C. 273	-
<i>Astrophytum myriostigma</i> Lemaire	B.Goettsch C. 350	4.4
<i>Coryphantha bergeriana</i> Boedeker	B.Goettsch C. 242	47.8
<i>Coryphantha villarensis</i> Beckeberg	B.Goettsch C. 390	4.4
<i>Coryphantha macromeris</i> (Engelmann) Britton et Rose	B.Goettsch C. 169	69.6
<i>Coryphantha palmeri</i> Britton et Rose	B.Goettsch C. 386	4.4
<i>Echinocactus horizionthalonius</i> Lemaire	B.Goettsch C. 246	26.1
<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link et Otto	B.Goettsch C. 181	73.9
<i>Echinocereus cinerascens</i> (De Candolle) Lemaire	B.Goettsch C. 111	8.7
<i>Echinocereus enneacanthus</i> Engelmann	B.Goettsch C. 356	30.4
<i>Echinocereus parkeri</i> Taylor	B.Goettsch C. 82	8.7
<i>Echinocereus pectinatus</i> (Scheidweiler) Engelmann	B.Goettsch C. 17	39.1
<i>Echinocereus pentalophus</i> (De Candolle) Lemaire	B.Goettsch C. 79	60.9
<i>Ferocactus echidne</i> (De Candolle) Britton et Rose	B.Goettsch C. 85	34.8
<i>Ferocactus hamatacanthus</i> (Muehlenpfordt) Britton et Rose	B.Goettsch C. 177	43.5
<i>Ferocactus pilosus</i> (Galeotti ex Salm-Dyck) Werdermann	B.Goettsch C. 342	43.5
<i>Leuchtenbergia principis</i> Hooker	B.Goettsch C. 101	8.7
<i>Lophophora williamsii</i> (Lemaire ex Salm-Dyck) J. Coulter	B.Goettsch C. 100	13
<i>Mammillaria albicoma</i> Boedeker	B.Goettsch C. 351	8.7
<i>Mammillaria baumii</i> Boedeker	B.Goettsch C. 292	4.4
<i>Mammillaria candida</i> Scheidweiler	B.Goettsch C. 352	47.8
<i>Mammillaria formosa</i> Galeotti ex Scheidweiler	B.Goettsch C. 183	69.6
<i>Mammillaria heyderi</i> Muehlenpfordt	B.Goettsch C. 182	39.1
<i>Mammillaria klissingiana</i> Boedeker	B.Goettsch C. 265	4.4
<i>Mammillaria magnimamma</i> Haworth	B.Goettsch C. 180	4.4
<i>Mammillaria melaleuca</i> Karwinski ex Salm-Dyck	B.Goettsch C. 377	4.4
<i>Mammillaria picta</i> Meisner	B.Goettsch C. 73	34.8
<i>Mammillaria picta</i> ssp. <i>viereckii</i> (Boedeker) Hunt	B.Goettsch C. 294	-
<i>Mammillaria prolifera</i> (Miller) Haworth	B.Goettsch C. 376	4.4
<i>Mammillaria roseoalba</i> Boedeker	B.Goettsch C. 267	8.7
<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Martius) Console	B.Goettsch C. 282	4.4
<i>Neolloydia conoidea</i> (De Candolle) Britton et Rose	B.Goettsch C. 357	65.2
<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck ex Engelmann	B.Goettsch C. 263	95.6
<i>Opuntia imbricata</i> (Haworth) De Candolle	B.Goettsch C. 266	78.3
<i>Opuntia kleiniae</i> De Candolle	B.Goettsch C. 74	39.1
<i>Opuntia lasiocantha</i> Hort. Vindob. ex Pfeiffer	B.Goettsch C. 298	4.4
<i>Opuntia leptocaulis</i> De Candolle	B.Goettsch C. 274	78.3
<i>Opuntia leucotricha</i> De Candolle	B.Goettsch C. 270	26.1
<i>Opuntia microdasys</i> (Lehmann) Pfeiffer	B.Goettsch C. 260	47.8
<i>Opuntia pubescens</i> Wendland ex Pfeiffer	B.Goettsch C. 284	4.4
<i>Opuntia rastrera</i> Weber	B.Goettsch C. 175	56.5
<i>Opuntia robusta</i> Wendland ex Pfeiffer	B.Goettsch C. 148	4.4
<i>Opuntia</i> sp	B.Goettsch C. 189	4.4
<i>Opuntia megarrhiza</i> Rose	B.Goettsch C. 379	4.4
<i>Opuntia stenopetala</i> Engelmann	B.Goettsch C. 394	82.6
<i>Opuntia streptacantha</i> Lemaire	B.Goettsch C. 144	13
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	B.Goettsch C. 297	13
<i>Opuntia tunicata</i> (Lehmann) Link et Otto ex Pfeiffer	B.Goettsch C. 359	69.6
<i>Opuntia vilis</i> Rose	B.Goettsch C. 168	4.4

<i>Pilosocereus leucocephalus</i> (Poselger) Byles et Rowley	B. Goettsch C. 289	8.7
<i>Sclerocactus uncinatus</i> (Galeotti) Taylor	B. Goettsch C. 250	47.8
<i>Selenicereus boeckmanii</i> (Otto ex Salm-Dyck) Britton et Rose	B. Goettsch C. 375	4.4
<i>Stenocactus</i> sp.	B. Goettsch C. 323	34.8
<i>Stenocereus griseus</i> (Haworth) Buxbaum	B. Goettsch C. 403	8.7
<i>Thelocactus bicolor</i> (Galeotti ex Pfeiffer) Britton et Rose	B. Goettsch C. 223	13
<i>Thelocactus conothelos</i> (Regel et Klein) F. Knuth	B. Goettsch C. 301	39.1
<i>Thelocactus hexaedrophorus</i> (Lemaire) Britton et Rose	B. Goettsch C. 176	30.4
<i>Thelocactus tulensis</i> (Poselger) Britton et Rose	B. Goettsch C. 363	13
<i>Turbincarpus pseudopectinatus</i> (Backeberg) Glass et Foster	B. Goettsch C. 42	8.7
<i>Turbincarpus schmiedickeanus</i> (Boedeker) Buxbaum et Backeberg	B. Goettsch C. 340	4.4
<i>Turbincarpus subterraneus</i> (Backeberg) A. Zimmerman	B. Goettsch C. 40	4.4