



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

"DIVERSIDAD, DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA
Y CONSERVACIÓN DE CACTACEAE EN EL
DESIERTO CHIHUAHUENSE. REGIÓN DE
MAZAPIL, ZACATECAS, Y ÁREAS
ADYACENTES."

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(SISTEMÁTICA)**

P R E S E N T A

DAVID BRAILOVSKY SIGNORET

DIRECTOR DE TESIS: DR. HÉCTOR MANUEL HERNÁNDEZ MACÍAS

México, D.F.

Abril, 2008



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.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo institucional proporcionado por la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Programa de Posgrado en Ciencias Biológicas, las facilidades brindadas por el Instituto de Biología y la extensión de una beca complementaria por parte de la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP). Así mismo, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) me otorgó una beca de posgrado, misma que me permitió realizar los estudios y contribuyó en gran medida al desarrollo de la presente investigación.

Agradezco también el apoyo brindado por la Cactus and Succulent Society of America (CSSA) a través de un fondo de investigación (2005), que en conjunto con las facilidades brindadas por el Laboratorio de Cactología del Dr. Hernández del Instituto de Biología, permitió el buen desarrollo de las exploraciones de campo. Los vehículos utilizados fueron proporcionados por el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Un especial agradecimiento a los miembros de mi comité tutorial: el Dr. Héctor Manuel Hernández Macías (IB-UNAM), el Dr. Héctor Takeshi Arita Watanabe (IE-UNAM) y la Dra. María Teresa Valverde Valdes (FC-UNAM); así como a la Dra. María Hilda Flores Olvera (IB-UNAM) y a la Dra. Teresa Terrazas Salgado (IB-UNAM), también miembros del jurado, que con su valiosa guía, sus revisiones y pertinentes comentarios, han contribuido en gran medida al desarrollo del proyecto y a la continuación de mi formación académica.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones por su contribución al desarrollo de esta investigación:

Al Dr. Héctor Manuel Hernández Macías (IB-UNAM) por sus sugerencias en la planeación del estudio, por su dirección y apoyo incondicional en la realización del mismo, por facilitarme el material e instrumentación necesarios y permitirme hacer uso de la base de datos que ha generado a lo largo de los años, por su orientación, comprensión y paciencia en el desarrollo del trabajo, por ser partícipe y guía en las excursiones al maravilloso Desierto Chihuahuense; al M. en C. Carlos Gómez Hinostrosa (IB-UNAM), por todo su apoyo en el campo y en el laboratorio, por las experiencias y conocimientos compartidos; a la pasante de doctorado Bárbara Goettsch Cabello, por su tiempo y apoyo, por facilitarme información geográfica y por las expediciones compartidas; a la Biól. Libertad Mendizábal Boldú, a la Biól. Mariel Navarro y al Técnico Adolfo Ibarra, por su gran apoyo en la realización de las colectas y por su siempre buena disposición. A todos ellos extendiendo mi agradecimiento por compartir su espíritu explorador y por su amistad. Al personal del Instituto de Biología, a mis profesores y compañeros en las ciencias; y a la Universidad Nacional Autónoma de México, con todo mi aprecio.

Un especial agradecimiento a la Dra. Norma Sánchez Santillán (UAM-X), quien me introdujo al complicado e interesante mundo de la climatología, gracias por su tiempo y paciencia, el material que me facilitó, sus sugerencias y amistad. Quiero agradecer también al Dr. Rolando T. Bárcenas Luna (UAQ) su apoyo en la identificación del género *Grusonia* y sus interesantes pláticas en torno a las cactáceas; a la Dra. Martha Signoret Poillon (UAM-X) y al M. en C. Alfonso Esquivel (UAM-X) por sus valiosas sugerencias y orientación, por permitirme hacer uso de las instalaciones en la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco y por facilitarme herramientas para el análisis estadístico de la información. Agradezco, así mismo, al Dr. Harry Brailovsky Alperowitz (IB-UNAM) por su comprensión y apoyo, por su revisión del documento y sus pensamientos. Gracias también a los profesores Rafael Ramos y Mauricio García del Instituto Tecnológico Autónomo de México, por las ideas y el tiempo compartidos; a la Dra. María Engracia Hernández (IG-UNAM) por su atención y por sus recomendaciones; al Dr. Daniel Mahr por su profesional y atenta consideración en la obtención del apoyo para investigación de campo por parte de la Cactus and Succulent Society of America (CSSA).

Gracias a la gente de Zacatecas y Coahuila, a Don José "El Bajío", a Don Ignacio y a todos aquellos que, con su experiencia, compañía y conocimiento tradicional, contribuyeron de alguna forma o facilitaron la realización de las expediciones.

Finalmente, agradezco al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y al Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IG-UNAM) por el apoyo brindado y la información facilitada, sin la cual no hubiera sido posible profundizar en el análisis de la relación de las cactáceas con los factores ambientales en una pequeña porción del extenso Desierto Chihuahuense.

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis, con todo mi aprecio...

A mis padres, Gisèle y Kent

Quienes siempre me han respaldado y motivado con su ejemplo.

A mis hermanos, Sheila y Peter

Con toda alegría y esperanza por seguir recorriendo juntos los caminos en la búsqueda de un mundo mejor.

A mis primos,

Porque son para mi, más que primos, hermanos.

A toda mi familia,

Con cariño y agradecimiento por las vivencias compartidas.

A mi director, Héctor

Por su tiempo, experiencias, paciencia, comprensión y amistad.

A la Universidad Nacional Autónoma de México,

Con mi más profundo agradecimiento; a su gente, al espíritu inquieto que busca alumbrar con la luz de la razón y el conocimiento.

Al Desierto Chihuahuense, a México y a La Tierra,

Con la esperanza de que la humanidad sepa encontrar los justos medios y que en su ajetreada y casi desesperada carrera, el sentido y la razón se impongan al caos en la construcción de opciones de vida equilibradas y sustentables.

RESUMEN

La diversidad de Cactaceae es de gran relevancia en el Desierto Chihuahuense y resulta especialmente interesante en torno a los valles centrales de San Luis Potosí, dado que estudios previos señalan su coincidencia con los mayores niveles de riqueza para el grupo a nivel continental. Se realizó un muestreo sistemático de Cactaceae en un cuadro de $\frac{1}{4}^\circ$ geográfico comprendido entre los $24^\circ 30'$ y los 25° N, y entre los $101^\circ 30'$ y los 102° O, con la idea de valorar la diversidad de dicha región, próxima a las áreas de mayor riqueza señaladas, buscar relaciones entre los patrones espaciales existentes y la configuración ambiental a nivel local, así como evaluar la relevancia de los taxa de la zona para la conservación de la diversidad. Se encontró una riqueza elevada, conformada por 45 especies, que incluyen a un híbrido descrito recientemente y un probable nuevo híbrido. Se efectuaron 24 nuevos registros para el área de estudio (53.33% de la riqueza total), 7 nuevos registros para Zacatecas (15.55%) y 2 para Coahuila (11.11%), y se halló un elevado número de endemismos para el Desierto Chihuahuense (64.44% del total de las especies). El grado de rareza de las cactáceas, el cual se relaciona directamente con una mayor vulnerabilidad ante los peligros ocasionados por la creciente transformación artificial del medio, fue valorado en torno a la existencia de endemismos (32 especies raras), a la amplitud geográfica relativa (24 especies raras), a la especificidad edáfica (15 especies raras) y climática (16 especies raras), así como en función de una medida relativa del grado de escasez de las especies presentes en los sitios (20 especies raras). Se proporciona la clasificación de la rareza según los criterios de Rabinowitz y se propone una nueva valoración (rareza media), que está altamente correlacionada con la anterior, pero que posee una mayor flexibilidad para la asignación de áreas prioritarias y el establecimiento de programas de conservación y uso controlado de los recursos naturales. Un total de 16 especies fueron evaluadas como raras de acuerdo al criterio de valoración propuesto. Se asignan prioridades para la conservación mediante el método de la complementariedad y se contrastan los acercamientos. Los resultados son consistentes entre sí, no obstante, los criterios supuestos deberán ajustarse a las posibilidades reales de los futuros programas de conservación para obtener un rendimiento óptimo de los recursos humanos, materiales y financieros disponibles para lograr un esquema viable para el manejo y uso sustentable de la biodiversidad. La evaluación puede afinarse mediante estudios similares en otras regiones, extenderse a otros grupos taxonómicos y proporcionar una idea general de la magnitud de los recursos y acciones necesarias para la preservación del medio natural. Se determinaron los patrones generales de relación de los taxa con los principales parámetros ambientales a través de una serie de análisis de componentes principales (ACP). Se encontraron asociaciones en varios de los casos, las cuales suelen estar implicadas en la determinación de restricciones ambientales particulares y en el grado de rareza de las plantas. Se enfatiza la relevancia del área estudiada para la conservación de las cactáceas del Desierto Chihuahuense y se sugiere la posibilidad de que *Opuntia chaffeyi*, una especie microendémica de la región, se encuentre casi extinta.

ABSTRACT

Diversity of Cactaceae is of great relevance in the Chihuahuan Desert and is particularly interesting around the central valleys of San Luis Potosí, where the higher richness levels occur on a continental basis. The cactus diversity in a $\frac{1}{4}^\circ$ geographical square located between $24^\circ 30'$ and 25° N, and between $101^\circ 30'$ and 102° W, was studied with the idea of increasing the current biogeographic knowledge on the group within this region and to perform a general search for patterns concerning environmental relationships of this plants. 45 species were registered for the area, including one described hybrid and a potential new one. 24 species were reported as new for the study area (53.33% of the overall richness), 7 new reports were obtained for Zacatecas (15.55%), while 2 new ones were found for Coahuila (11.11%) and a high level of endemism for the Chihuahuan Desert was noticed (64.44%). The degree of rarity for the species was studied through several levels: the presence of endemisms (32 rare species), the relative geographic range (24 rare species), the edaphic (15 rare species) and climatic (16 rare species) specialization, as well as a measure of the relative local scarcity of the plants (20 rare species). Rabinowitz classification for rarity was obtained and compared with a new evaluation (mean rarity), which is highly correlated with the first one but has a larger flexibility for the establishment of conservation priorities and programs. A total of 16 species were classified as rare following the settled criteria on this work. A series of approaches in the establishment of conservation areas were analyzed through the complementarity method and compared with each other to build the general guidelines for future management efforts. The results are consistent among each other, however, the assumptions on the criteria must be adjusted to the real possibilities of future conservation programs in order to obtain an optimal achievement on the management of the human and natural resources through the region. The method may be employed in similar evaluations and could be extended to other biological groups and regions to help endorse resource management and environmental conservation. The main correlations between the species spatial arrangement and the environmental factors were obtained through principal component analyses (PCA). A series of environmental restrictions were settled for some of the species and remain to be studied in a more specific and detailed way. The relevance of the studied area is highlighted in reference to the cactus diversity of the Chihuahuan Desert and the regional microendemic, *Opuntia chaffeyi*, is thought to be possibly extinct.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN

1.1	Problemática ambiental y biodiversidad de Cactaceae.....	11
1.1.1	La familia Cactaceae.....	13
1.1.2	Conservación de las Cactaceae.....	15
1.1.3	El Desierto Chihuahuense y las Cactaceae.....	18
1.2	Objetivos.....	23
1.3	Hipótesis de Trabajo.....	24

CAPÍTULO 2 – ÁREA DE ESTUDIO

2.1	Ubicación y caracterización fisiográfica.....	25
2.2	Geología, edafología y algunas consideraciones bióticas.....	27
2.3	Clima de la región.....	29
2.4	Tipos de Vegetación.....	34
2.5	Población y actividad humana.....	37

CAPÍTULO 3 - MÉTODOS

3.1	Trabajo de campo y gabinete.....	39
3.2	Manejo de la información.....	40
3.3	Análisis de datos.....	42
3.3.1	Evaluación de la rareza relativa.....	42
3.3.2	Análisis de complementariedad.....	45
3.3.3	Modelo climático y análisis de correlación.....	46

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1	Diversidad de Cactaceae en la región y en el área de estudio.....	50
4.2	Patrones espaciales de distribución de los taxa de Cactaceae en el área de estudio.....	54
4.3	Evaluación de la rareza relativa.....	59
4.4	Definición de áreas prioritarias para la conservación.....	67
4.5	Correlación de factores ambientales.....	72

CONCLUSIONES.....	82
-------------------	----

REFERENCIAS Y ANEXOS.....	85
---------------------------	----

Tablas y Figuras

A continuación se proporciona una relación de las Tablas y Figuras presentadas en este trabajo para facilitar su ubicación particular. Se indican con **negritas** las secciones del manuscrito en las que se pueden encontrar y en *cursivas* otras referencias a las mismas. Aquellos elementos que han sido incluidos en el anexo se presentan con numeración romana.

Tablas				Figuras			
			pág.				pág.
1	2.3		31	1	2.1	<i>(ver Fig. ii)</i>	25
2	3.3.3		48	2	2.1		26
3	4.1		53	3	2.3	3.3.3	32
4	4.3		60	4	2.3	3.2	33
5	4.4		67	5	2.3		33
6	4.4		69	6	4.1	3.3.1	51
7	4.4		69	7	4.1		55
				8	4.2		57
				9	4.2		58
				10	4.3		62
				11	4.3		63
				12	4.3		66
				13	4.3		66
				14	4.4		68
				15	4.4		70
				16	4.5		73
				17	4.5	4.3	74
				18	4.5		79
				19	4.5		79
Tablas del Anexo							
i	2.2.1	3.3.1	3.3.3	vii	4.3		
ii	2.3	3.1		viii	4.4		
iii	2.3	3.3.1	3.3.3	ix	4.4		
iv	3.3.1	4.1		x	4.4		
v	3.2			xi	4.4		
vi	4.1			xii	2.4		
Figuras del Anexo							
i	2.3			x	4.5		
ii	3.1			xi	4.5		
iii	3.3.3			xii	4.5		
iv	4.5			xiii	4.5		
v	4.5			xiv	4.5		
vi	4.5			xv	4.5		
vii	4.5			xvi	4.5		
viii	4.5			xvii	4.5		
ix	4.5			xviii	4.5		
				xix	4.5		
				xx	4.5		
				xxi	4.5		
				xxii	4.5		
				xxiii	4.5		
				xxiv	4.5		
				xxv	4.5		

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática ambiental y biodiversidad de Cactaceae



Panorámica del Desierto
Chihuahuense, Mazapil, Zacatecas.

La biodiversidad comprende la amplia gama o variedad de la vida en sus diferentes niveles de organización (Heywood y Watson, 1995). La variedad, amplitud de ecosistemas, formas de vida y riqueza específica, la variabilidad genética y molecular, así como los procesos dinámicos en los que participan los organismos en interacción con los componentes inertes del planeta, le confieren sus características a la biosfera y a la biota actual. Son estos elementos los que proporcionan estabilidad a los sistemas naturales, los que mantienen en último término los sistemas modificados generados o contruidos por el ser humano para su beneficio inmediato, y que resultan precisamente motivo de profunda preocupación ante la falta de visión y planificación racional por parte de las civilizaciones humanas. La situación se torna aún más seria dadas las fuertes reticencias a realizar impostergables cambios de paradigmas en el funcionamiento de dichas sociedades.

En la biodiversidad contamos con un inmenso acervo de promesas para el presente y para el futuro, pero más allá de las consideraciones de carácter utilitario inmediato, más allá de las posibles aplicaciones médicas e industriales y de los sistemas de producción alimentarios, la biodiversidad es en sí misma motor y sustento de la vida. Estimaciones recientes indican que cerca de la mitad de la superficie habitable del planeta ya ha sido modificada en cierto grado por la civilización humana, que actualmente acapara alrededor del 60% de la productividad neta aprovechable del mismo, desplazando y limitando de forma creciente los recursos disponibles para el resto de las especies. El uso intensivo de las tierras para la agricultura y la ganadería, el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura, la contaminación, la tala o modificación sustantiva de las asociaciones vegetales, la pérdida y fragmentación del hábitat, la cacería y recolecta incontroladas, el trasplante intencional o accidental de elementos bióticos exóticos y la sobreexplotación de los recursos naturales en general, han incidido pronunciadamente de forma negativa en la biodiversidad a grado tal de implicar la aparición de amenazas de extinción para diversos grupos y provocar la extinción de numerosas especies.

Diversos autores contemplan seriamente la participación del ser humano en lo que parece ser una nueva modalidad de extinción masiva con elevadas tasas de extinción (Vane-Wright et al., 1991; Dirzo, 1990; Heywood y Watson, 1995; Pin Koh et al., 2004; UNEP, 2006). Los principales lineamientos del “Convenio sobre la Diversidad Biológica” (CBD por sus siglas en inglés) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA ó UNEP por sus siglas en inglés) giran, precisamente, en torno a la necesidad de inventariar e investigar los recursos bióticos, conservar o preservar las poblaciones naturales y los recursos genéticos y ecológicos, así como enfocar sinergias al diseño y consecución de planes de manejo para la utilización sustentable de los mismos (Heywood y Watson, eds., 1995; UNEP, 2004). Resalta la pertinencia de abundar en el conocimiento de la diversidad biológica, incrementar el conocimiento en torno a su estado actual de conservación e implementar medidas que coadyuven a su protección y manejo sustentable.

Resulta insoslayable intentar vincular el estado actual de los sistemas con los estados previos, comprender la evolución de los mismos en relación con la actividad humana pasada y aprovechar el conocimiento generado para enfocar la atención en la aplicación de soluciones coherentes, como lo sugieren acertadamente Jared Diamond (2005) y Lester R. Brown (2006), entre otros autores. Acciones de este orden, desarrolladas en conjunto con avances serios en la implementación de paradigmas socioeconómicos racionales que busquen dirigir los esfuerzos humanos hacia un equilibrio tolerable con respecto a sus propias demandas y las posibilidades reales del medio natural, pueden encauzar a la humanidad hacia alternativas interesantes – e incluso prometedoras – que la alejen de su actual aceleración hacia un cada vez más cercano colapso global, que traería consecuencias funestas para la vida en todo el planeta.

En México, la conservación de la naturaleza se inició con la protección de manantiales y con la instauración de algunos Parques Nacionales (CONANP, 2000) definidos de acuerdo al valor estético y natural de ciertas regiones, así como por consideraciones de política territorial. Dicha organización, un tanto artificiosa, un tanto arbitraria, no cubría y en gran medida aún no ha permitido cubrir en forma satisfactoria la amplia riqueza biológica y el elevado nivel de endemismo asociado a la misma, que a decir de Mittermeier y Goettsch (1992), destacan el carácter megadiverso del país. La gran riqueza biológica de México se puede observar a lo largo de diversas escalas, o si se prefiere, distribuida en diferentes niveles de jerarquización. Se cuenta con una amplia gama de ambientes y ecosistemas relacionados con una configuración espacial y altitudinal igualmente sorprendente. En los diversos sistemas naturales se puede hallar una gran diversidad de especies, que representan un buen número de grupos taxonómicos. Existe así mismo una gran variabilidad genética en muchos de los grupos integrantes de la biota mexicana. La apremiante necesidad de integrar una mayor proporción de esa gran riqueza dentro de zonas de conservación, caracterizar y comprender el estado y

comportamiento de dicha biota, así como efectuar un aprovechamiento racional de los recursos implicados, se verá aliviada al dirigir más recursos hacia la investigación y hacia la implementación de planes de manejo que incorporen el conocimiento generado a través de la misma. Resulta necesario enfatizar la importancia de este aspecto, ya que los esfuerzos de conservación debieran basarse precisamente en el conocimiento de los patrones de riqueza, endemismo y grado de amenaza (Ceballos y Brown 1995, Sisk et al. 1994, Arita et al. 1997, Mittermeier et al. 1998, Ceballos et al. 1998).

En las últimas décadas se han dado importantes pasos en el campo de la conservación mediante la ampliación de las áreas bajo protección y con la conformación del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP). Dada la amplitud del conocimiento y el problema de la representatividad de los grupos bióticos en las áreas protegidas, diversos especialistas han sumado esfuerzos para mejorar la evaluación e integración de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), además de que se han estructurado diversos niveles de protección y se han caracterizado una serie de Regiones Terrestres Prioritarias (Arriaga et al., 2000, www.conabio.gob.mx). Avances en el ámbito legislativo nacional e internacional también han incidido en la protección de las especies, y seguramente se verán reforzados con la consolidación de las áreas protegidas. La visión moderna en torno a las ANP hace necesario establecer reservas naturales para preservar la diversidad biológica, los ecosistemas y los servicios ecosistémicos, así como la continuidad misma del proceso evolutivo (Arriaga et al., 2000). Con esta idea en mente, resulta imperante avanzar en la conformación y caracterización del inventario biológico y en la evaluación del grado de amenaza y vulnerabilidad en que se encuentran los diversos grupos.

1.1.1 La familia Cactaceae

Las cactáceas son plantas suculentas con formas sui géneris y extrañas que caracterizan el paisaje de las zonas áridas de México, junto con los mezquites, magueyes y yucas (Bravo-Hollis, 1997). Se distinguen por sus caracteres anatómicos y fisiológicos, tales como su constitución crasa, reducción del limbo de las hojas, hipertrofia del pecíolo hasta su transformación en un podario o tubérculo, modificación de las yemas hasta su conformación en areolas, espinación diversa y un metabolismo de tipo ácido-crasuláceo (Bravo-Hollis, 1997) ó CAM por sus siglas en inglés. La mayor parte de las especies presentan espinas o acúleos que pueden contribuir a la adaptación ante diversas exigencias del medio, como son: el grado de exposición a la radiación solar, las variaciones térmicas y la depredación. Las areolas producen también ramas, flores, glóquidas pelos y glándulas (Bravo-Hollis, 1978; Barthlott y Hunt, 1993). La familia Cactaceae comprende especies con una amplia gama de hábitos de crecimiento y

estructuras morfológicas. Gran parte de las especies de Cactaceae se encuentran especialmente bien adaptadas para resistir las condiciones de aridez que imperan en las zonas desérticas y semidesérticas, las condiciones extremas de la temporada de sequía en los bosques templados y selvas subtropicales caducifolias, así como el estrés ambiental que a ciertos géneros y especies les plantea su hábito epífita o rupícola. Entre las modificaciones fisiológicas y anatómicas involucradas, cabe destacar la succulencia de los tejidos, la tendencia a la pérdida del desarrollo foliar, las espinas y elementos derivados de las areolas, así como la larga vida de la epidermis, el metabolismo CAM y la configuración de las fibras lignificadas (Mauseth, 2004).

La familia Cactaceae agrupa algo más de 1500 especies en cerca de 100 géneros y tres subfamilias, siendo una de las familias de angiospermas más conspicuas y diversas en América (Cronquist, 1981; Gibson y Nobel, 1986; Mauseth, 1990; Barthlott y Hunt, 1993; Rzedowski, 1993). La diversidad de la familia resalta al considerar las diferentes formas de vida, que comprenden arbustos y árboles foliados, plantas columnares, globosas, cilíndricas, en forma de barril y formas opuntioides (Hershkovitz y Zimmer, 1997). Adicionalmente constituyen un grupo diverso en cuanto a su composición química y en la gama de síndromes de polinización (Gibson y Nobel, 1986; Barthlott y Hunt, 1993; Fleming y Valiente-Banuet, 2002).

Las Cactaceae están comprendidas dentro del orden monofilético Caryophyllales (Bittrich, 1993; Cronquist y Thorne, 1994), el cual incluye entre 12 y 18 familias más, con cerca de 10,000 especies. Las posturas respecto a la posición de esta familia dentro del orden han variado mucho (Cronquist, 1981; Rodman et al., 1984; Gibson y Nobel, 1986; Hershkovitz, 1989; Rodman, 1990, 1994; Thorne, 1992; Bittrich, 1993; Barthlott y Hunt, 1993; Cronquist y Thorne, 1994; Gibson, 1994; Leins y Erbar, 1994; Turner, 1994; Clement y Mabry, 1996); sin embargo, únicamente han existido discrepancias al respecto de la inclusión de las especies foliadas, como las pertenecientes al género *Pereskia*. La presencia basal de la subfamilia Pereskioideae entre las cactáceas está actualmente bien sustentada con base en las características morfológicas (Gibson y Nobel, 1986; Leuenberger, 1986; Barthlott y Hunt, 1993) y confirmada por análisis moleculares y estudios genéticos de los cloroplastos (Wallace, 1995).

Algunas especies de cactáceas han sido un recurso alimenticio tradicional de considerable importancia para la población indígena y rural, especialmente por el agua que contienen sus tejidos, por la gran cantidad de hidratos de carbono en sus frutos y por las proteínas y grasas de las semillas (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995). De hecho la domesticación de diversas especies principió hace aproximadamente 9,600 años, aunque probablemente estuvo precedida por actividades de recolecta y uso incipiente que se pudieran situar aún más atrás en el tiempo (Casas y Barbera, 2002). Son múltiples los productos económicos tradicionales y comerciales derivados de las cactáceas, entre los que se podrían destacar los

siguientes: alimentos, forrajes, medicinas, gomas, jabón, setos vivos y ornamentos (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995). Algunos de estos usos, en especial la comercialización de cactáceas silvestres como plantas ornamentales fuera de un marco regulatorio y un plan de manejo, han puesto en entredicho la permanencia de las poblaciones de estas plantas en el medio natural y resaltan la necesidad de incrementar el conocimiento en torno al grupo, dedicar esfuerzos a la conservación y pensar en alternativas sustentables para su manejo.

Las cactáceas son autóctonas del Continente Americano, donde crecen desde Canadá hasta el sur de Argentina (Bravo-Hollis, 1997). La mayor parte de las especies son endémicas de América, con excepción de *Rhipsalis baccifera*, cuya distribución natural alcanza ciertas áreas de África y el Sur de Asia (Gibson y Nobel, 1986; Barthlott y Hunt, 1993; Anderson, 2001). Se considera que la evolución de Cactaceae en América fue influenciada ampliamente por los cambios climáticos y vegetacionales, que permitieron la paulatina diversificación de la familia, así como la generación de un gran número de endemismos y microendemismos. Algunas especies presentan distribuciones amplias, mientras que la mayor parte presentan distribuciones restringidas y discontinuas, con elevados niveles de endemismo (Fleming y Valiente-Banuet, 2002; Nobel, 2002; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2002; Godínez-Álvarez et al., 2003). México constituye uno de los centros de diversidad más importantes de cactáceas y alcanza la más alta diversidad a nivel continental (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-hollis y Sánchez-Mejorada, 1991 a, b; Hunt, 1999; Anderson, 2001) con un total de 50 géneros y alrededor de 550 especies (Hunt, 1999; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005). Cabe destacar la presencia de tres regiones de gran riqueza específica en el vasto territorio mexicano: el Desierto Chihuahuense, el Desierto Sonorense y el Valle de Tehuacán-Cuicatán (Hernández y Godínez, 1994; Hernández y Bárcenas, 1995; Hernández et al., 2004), así como la existencia de una diversidad muy amplia en los bosques tropicales caducifolios y espinosos, entre los que destacan los existentes en la cuenca del Balsas y el istmo de Tehuantepec (Hernández et al., 2004).

1.1.2 Conservación de las Cactaceae

La familia Cactaceae es uno de los grupos de plantas más amenazado en la actualidad. Esto se debe principalmente a las características biológicas del grupo, puesto que los ciclos de vida de la mayor parte de las especies son largos y, en numerosas ocasiones, el éxito reproductivo es limitado (Hernández y Godínez, 1994). La mayoría de los cactus alcanzan la madurez reproductiva después de años e incluso décadas. Más aún, la mayor parte de las semillas se pierde mediante diversos tipos de depredación y solamente una fracción reducida de las que subsisten logran encontrar las condiciones propicias para su germinación y posterior desarrollo (Godínez-Álvarez et al., 2003).

En la actualidad, según la evaluación del Cactus and Succulent Specialist Group (CSSG) de la IUCN (World Conservation Union), las mayores presiones que amenazan la diversidad de Cactaceae comprenden en orden de importancia: 1) el desarrollo agrícola y la deforestación, 2) la urbanización y el desarrollo de infraestructura carretera, energética e hidroeléctrica, 3) la colecta y el tráfico de cactáceas ornamentales, y 4) los desarrollos mineros, en especial aquellos relacionados con la explotación de roca y material para la industria de la construcción (Oldfield, 1997, www.iucn.org). A estas amenazas, preponderantemente agresivas para las especies de distribución restringida, se pueden sumar los efectos de cambios climáticos regionales y locales, así como la posible incidencia de plagas por la introducción de especies exóticas.

La colecta indiscriminada de especímenes para su exportación y venta a coleccionistas en diversos países ha agravado notablemente la situación para muchas especies (Jarvis, 1979; Sánchez-Mejorada, 1982; Fuller y Fitzgerald, 1987; Hernández y Godínez, 1994; Robbins, 2003). Dicha colecta irregular continúa hasta nuestros días, aumentando la vulnerabilidad de las poblaciones e incrementando el riesgo de extinción. En las últimas décadas se han venido concretando esfuerzos para intentar paliar dicha problemática y conservar la diversidad del grupo. Cabe destacar los listados de la CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), la SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) y la IUCN.

La CITES tiene sus orígenes en los años 1960's como un tratado con vistas a la regulación internacional del tráfico de especies amenazadas. Los diversos países firmantes se encargan de la implementación local del aspecto legal, así como de la generación, revisión y actualización de los listados que les conciernen. En la actualidad se incluye prácticamente a toda la familia Cactaceae en el Apéndice II de la CITES, (1990 y 1992; CITES 2007), que incluye a las especies que pueden verse amenazadas de extinción si no se regula el comercio de las mismas, así como a 69 especies (CITES, 2007) en el apéndice I, que considera especies en grave riesgo de extinción o aquellas que pueden llegar a estarlo si se comercia con ellas, de las cuales 46 especies están presentes en México y 32 son endémicas del Desierto Chihuahuense (CITES, 2007). La CITES constituye un organismo administrado por la Organización de las Naciones Unidas en el que participan 123 países (Glass, 1998), que cobra especial importancia en el intento por evitar la destrucción de las poblaciones de las especies amenazadas (CITES, 2007). El Apéndice I enlista especies cuyo tráfico internacional está restringido a especímenes cultivados y exige la posesión de licencias pertinentes; paralelamente permite el tráfico de especímenes silvestres con motivos científicos previa aprobación del permiso. El Apéndice II enlista especies cuyo tráfico internacional en forma silvestre y cultivada está permitido, acompañado de las licencias pertinentes (CITES, 2007).

Por otra parte, la IUCN incluía 286 especies de cactáceas mexicanas en su lista roja de plantas amenazadas (Walker y Gillett, 1998), y 63 especies correspondían al Desierto Chihuahuense (Hernández et al., 2004). No obstante, se está llevando a cabo un proceso de revisión y validación para la generación de un nuevo listado, el cual incluye hasta el momento 157 especies de cactus (IUCN Red List of Threatened Plants, 2007), de las cuales 68 están presentes en México y 54 son endémicas del Desierto Chihuahuense. Por su parte, la SEMARNAT enlista 257 especies en la Norma Oficial Mexicana NOM – 059 – ECOL – 2001 (SEMARNAT, 2002), de las cuales 136 están presentes en el Desierto Chihuahuense (Hernández, 2002; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2002; Hernández et al., 2004).

La regulación de la posesión y el tráfico de cactáceas a través de políticas públicas nacionales e internacionales constituye un gran avance para reducir el impacto ejercido por el coleccionismo exacerbado, especialmente en relación con los taxa más raros y potencialmente amenazados. Paralelamente, un aporte de gran importancia para la conservación del grupo recae en la investigación básica y aplicada. La investigación en la que se podrían sustentar las futuras evaluaciones en torno al grado de amenaza en el grupo se está realizando con el apoyo de diversas Universidades, Jardines e Instituciones botánicas, así como mediante el respaldo de diversos fondos. Se ha contado con ciertos recursos procedentes de programas internacionales, en particular por parte de las iniciativas de: International Organization for Succulent Plant Study (IOS); IUCN; Man and the Biosphere (MAB) de la UNEP; World Wild Life Fund (WWF), así como con la participación de algunas sociedades cactológicas, como en el desarrollo de la presente investigación (Cactus and Succulent Society of America, CSSA).

En multitud de casos la investigación ha ido de la mano con la implementación de medidas de conservación *ex situ*, a través de los Jardines Botánicos e incluso mediante colecciones privadas bien establecidas, así como con la definición de lineamientos para la conservación *in situ*. La segunda constituye, de acuerdo a la visión generalizada de la comunidad científica, la principal vía para abordar la conservación biológica en general y la diversidad de Cactaceae en particular. Mediante la conservación *in situ* se busca obtener la mejor oportunidad de supervivencia para las especies raras y amenazadas (Oldfield, 1997), además de que se integra el nivel ecosistémico con todos sus componentes y servicios asociados. Dicho planteamiento se ha abordado mediante la conformación de diversos tipos de ANP, que inicialmente fueron de índole público y tan sólo en fechas recientes han sido complementadas con algunas propiedades privadas.

En México, como se ha mencionado con antelación, la protección de la biodiversidad está basada en decretos federales y estatales, conformando un sistema nacional de áreas naturales protegidas (SINAP). Diversas especies de cactáceas están presentes en algunas ANP, entre las cuales cabe destacar la reserva de la biosfera (RB) de Mapimí y la RB de Tehuacán-Cuicatlán, así como el Refugio de Vida Silvestre de Cuatro Ciénegas, la RB El Pinacate y Gran Desierto de Altar, la RB alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, RB Isla San Pedro Martir y otras áreas protegidas del Golfo de Baja California, la RB El Vizcaíno, la RB Sierra Gorda y la RB Barranca de Metztitlán (CONANP, 2007). Algunas reservas estatales, parques nacionales y otras RB también muestran cierta diversidad de Cactaceae. Adicionalmente se han propuesto diversas Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) que incluyen cactáceas. No obstante, no se cuenta con un estudio exhaustivo con relación a la representatividad en el SINAP. González y Del Valle (2004), en un estudio general, destacan que se encuentra representado en el SINAP tan sólo el 20.3% de las especies de cactáceas registradas para México, mientras que únicamente el 15% de las especies amenazadas y el 16% de las especies endémicas del país existen al menos en alguna de las ANP.

Cabe mencionar, por su extensión y cercanía con la región objeto del presente estudio, a la RTP No. 80, denominada Tokio (Arriaga et al., 2000). Dicha RTP fue delimitada con base en la distribución de las poblaciones amenazadas del perrito de la pradera (*Cynomys mexicanus*) y aunque tal vez contenga una cierta representatividad de las cactáceas de la región, es probable que los patrones de distribución y riqueza del grupo no estén adecuadamente representados puesto que las altitudes son considerables.

1.1.3 El Desierto Chihuahuense y las Cactaceae

El Desierto Chihuahuense constituye uno de los principales centros de diversidad de cactáceas en América del Norte, siendo además el más amplio, puesto que abarca una extensión aproximada de 507,000 km² y se extiende desde el sureste de los Estados Unidos de América (Arizona, Nuevo México y Texas) hasta el centro de México (Guanajuato, Querétaro e Hidalgo) (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2004). Se trata de una gran región con una considerable variación altitudinal, aunque la mayor parte se sitúa entre 800 y 2000 metros de elevación. La porción central es atravesada por la Sierra de Parras y limita con la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, que generan las condiciones climáticas idóneas para el desarrollo de la vegetación xerófila en las partes medias y bajas. Las zonas más elevadas llegan a presentar comunidades transicionales, así como asociaciones de pinar y encinar, como consecuencia del incremento altitudinal de las precipitaciones. En los extremos sur y este del Chihuahuense existen numerosos macizos montañosos y cañones relativamente aislados, los cuales delimitan zonas semidesérticas que albergan una gran diversidad de cactáceas y comprenden numerosos ejemplos de endemismo extremo.

La conformación del Desierto Chihuahuense es heterogénea, presenta ecotonos extensos e incluye la intercalación de áreas no desérticas, las cuales típicamente son zonas montañosas de elevación considerable, sujetas a fuertes influencias por la cercanía al desierto (Shreve, 1942; Morafka, 1977; Medellín-Leal, 1982), razón por la cual se les ha incluido junto con las áreas de mayor aridez asociadas en una unidad geográfica única, conocida como la Región del Desierto Chihuahuense (Henrickson y Straw, 1976; Morafka, 1977; Medellín-Leal, 1982). Cabe señalar que la extensión y las fronteras de este desierto también han sido muy discutidas, en particular en cuanto a sus límites al norte y al sur (Shreve, 1942; Contreras, 1955; Henrickson y Straw, 1976; Morafka, 1977; Schmidt, 1979; Medellín-Leal, 1982).

La Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental han constituido los límites tradicionales del Desierto Chihuahuense al oeste y al este, respectivamente. Los límites hacia el norte enmarcan una porción de los Estados Unidos de América, mientras que hacia el sur se han extendido paulatinamente hacia el centro de México, al ampliarse el conocimiento regional y local sobre las condiciones bióticas y abióticas del mismo. Aunque en el pasado han existido algunas clasificaciones en cuanto a la configuración geográfica del Desierto Chihuahuense y sus límites, resulta de gran interés la caracterización propuesta por Hernández y Gómez-Hinostrosa (2005) en la que se regionaliza al mismo con relación al área de distribución de cactáceas endémicas. En dicho trabajo se propone la presencia de tres subregiones: 1) la subregión principal, que abarca la mayor parte de la extensión y es similar al área grande definida por Henrickson y Straw en 1976 (Citado en Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005); 2) la subregión meridional, que comprende diversas depresiones y valles áridos, los cuales coinciden parcialmente con el área Queretano-Hidalgense descrita por Medellín-Leal en 1982 (Citado en Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005); y 3) la subregión oriental, que incluye valles y depresiones localizadas en la Sierra Madre Oriental, inmediatamente al este del extremo sur de la subregión principal y ubicada básicamente en los estados de Nuevo León y Tamaulipas.

Las asociaciones vegetales típicas del Desierto Chihuahuense incluyen: matorral de *Larrea*, *Larrea-Yucca*, *Agave lechuguilla-Hechtia*, y matorral boscoso de *Prosopis* (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005) en las zonas áridas y semiáridas, en donde se presentan también numerosas cactáceas. Algunos llanos han sido usados intensivamente para el desarrollo agropecuario y comprenden amplios pastizales, mientras que las zonas de mayor elevación incluyen asociaciones montañas de carácter boscoso: chaparral de Encino (*Quercus*, *Fraxinus*, entre otros), así como bosques de Junípero-Piñón y bosques de Encino (*Quercus*, *Juniperus*, *Pinus*, *Fraxinus* y otros géneros con diversos grados de dominancia). También existen bosques en los que domina el género *Pinus*, pudiendo estar presentes: *Quercus*, *Cupressus* y *Acer* (Henrickson y Johnston, 1986). Las yucas y los agaves se encuentran representados en todos los casos. Una extensa sección del sur del desierto, que corresponde al centro de México (Flores y Yeaton, 2003), se encuentra cubierta por nopaleras (descrito por Miranda y Hernández, 1963) o matorral crasicale (descrito por Rzedowski, 1966).

En todo el Desierto Chihuahuense se han registrado 324 especies y cinco híbridos confirmados de cactáceas, cifra que representa alrededor del 57% del total de las cactáceas mexicanas y que comprende 39 géneros, de los cuales 17 son endémicos de esta región (Hernández, 2002, Hernández et al., 2004). Además, en las últimas décadas se ha avanzado en la descripción de algunos patrones regionales (Hernández y Bárcenas, 1995, 1996) y locales (Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000; Hernández et al., 2001) de la diversidad de Cactaceae, y recientemente se publicó un catálogo completo de las especies de cactáceas de la región (Hernández et al., 2004). Aunque se contaba con cierta información de colectas y observaciones de naturalistas de los siglos XIX y XX, así como con colectas a lo largo de algunos trayectos realizadas por Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, entre otros, la búsqueda de patrones de diversidad en torno al grupo no se abordó con mayor detalle y de una forma sistemática sino con el inicio de las investigaciones de Hernández y Bárcenas alrededor de 1995. En un principio se dividió a la región en 255 cuadros de $\frac{1}{4}$ de grado geográfico y se evaluó de forma incipiente la riqueza y la representatividad de endemismos a través de múltiples excursiones (Hernández et al., 1993; Gómez-Hinostrosa, 1998). Se destacó la presencia de varios cuadros con un alto nivel de riqueza, entre los que cabe destacar la gran diversidad de Cactaceae encontradas para la región central de San Luis Potosí y en particular para la región del Huizache, en la que Hernández y colaboradores (2001) registraron 75 especies y efectuaron una interesante evaluación de los patrones de diversidad con la que se implementó una priorización para la conservación de la zona.

Un estudio efectuado por Gómez-Hinostrosa y Hernández (2000) apuntaba ya a la caracterización de la región del Huizache como una de las regiones más ricas de cactáceas a nivel continental. Los valles centrales de San Luis Potosí se ubican a unos 100 km al SE de la región explorada en el presente trabajo, separados por algunas serranías menores. El Desierto Chihuahuense también se ha revelado especialmente cautivante en cuanto al nivel de endemismo de cactáceas, puesto que 17 géneros (43.6% del total) y 229 especies (69.8% del total) se encuentran geográficamente restringidos al mismo (Hernández et al., 2004). Martínez-Ávalos y Jurado (2005) llevaron a cabo un estudio biogeográfico de características similares a los anteriores, aunque en una escala geográfica menos detallada, para el estado de Tamaulipas, coincidiendo en parte con la Subregión Este del Desierto Chihuahuense. Así mismo, Bárcenas (1999) realizó un estudio de los patrones de distribución de las Cactaceae en el Estado de Guanajuato, encontrando una riqueza particularmente notable en Xichú.

Se ha planteado la utilidad de este tipo de enfoques sistemáticos para el estudio de las cactáceas en otras regiones del continente y se cuenta ya con un estudio equiparable, mismo que fue llevado a cabo por Saravia (2006) en los Valles Calchaquíes, en el Norte de Argentina. La aplicación de este tipo de enfoque para explorar los patrones espaciales detallados de las cactáceas es novedoso y será de gran interés la continuación de los esfuerzos en este sentido.

Dada la amplitud latitudinal del Desierto Chihuahuense y a su variación altitudinal, existen considerables efectos de enfriamiento parcialmente coincidentes con la estación seca, en invierno. Dichos efectos son particularmente relevantes en la zona norte y en otras regiones, a mayor gradiente altitudinal. Flores y Yeaton (2003) hicieron notar que la distribución de ciertas cactáceas columnares y arborescentes va de acuerdo a un gradiente climático, en donde participa un fuerte elemento selectivo: el congelamiento y mortandad parcial o total de meristemas y tejidos durante los días con heladas. Dicha influencia ya había sido señalada por Gibson (1986) y otros autores, y ha sido retomada para la comprensión del área de distribución de especies generalistas, como sucede con *Myrtillocactus geometrizans* (Pérez-González, 1999). El hecho de que sólo en fechas relativamente recientes comience a ser posible la consideración profunda de este tipo de factores – que en el caso mencionado parece constituir la principal limitante latitudinal en la diversidad de Cactaceae, que se concentra en las regiones del centro y del sur – destaca el largo camino que aún resta por recorrer para comprender mejor la biología y ecología de las cactáceas, así como la gran importancia del avance conjunto de los estudios taxonómicos y biogeográficos.

Dado que el SINAP cubre tan sólo una extensión limitada de las áreas críticas del Desierto Chihuahuense (Gómez-Pompa y Dirzo, 1994), y debido a la importancia del mismo como centro de diversidad de Cactaceae, así como a la vulnerabilidad de un gran número de especies de este interesante grupo, se revela una fuerte necesidad de contar con información detallada sobre la dinámica poblacional, la biogeografía, la ecología y las respuestas biológicas de dichas plantas ante los cambios del medio y la intervención humana. Hasta el momento son pocos los estudios que cubren este tipo de acercamiento a detalle, por lo que es necesario avocarse al estudio de zonas poco investigadas. Adicionalmente, el conocimiento generado en este sentido será de gran utilidad para la articulación de propuestas de manejo y protección de los recursos naturales del desierto, en especial para la detección de áreas prioritarias para la conservación de las cactáceas y para establecer las bases para la creación de áreas naturales protegidas que cubran de forma eficiente no sólo las zonas de mayor diversidad, sino aquellas en las que existan endemismos importantes que se vean amenazados.

En la actualidad se cuenta con diversas áreas protegidas en el Desierto Chihuahuense, conformadas dentro del contexto sociopolítico y legal de México o de los Estados Unidos de América, según cada caso particular. Los más importantes en el lado Estadounidense son: La Jornada Experimental Range, Big Bend National Park y White Sands National Monument (Hernández, 2002). Por su parte, durante los últimos treinta años, México ha sido protagonista en la creación de diversas áreas protegidas que contribuyen en diverso grado a la conservación de los recursos del desierto. Destacan por su diversidad e incidencia de endemismos, de entre las áreas creadas en México: la Reserva de la Biósfera de Mapimí, El Refugio de Vida Silvestre de Cuatro Ciénegas, El Refugio de Vida Silvestre de Maderas del Carmen, y la Reservas de la Biósfera de Meztitlán y la Sierra Gorda (Hernández, 2002).

Aunque la contribución de dichas áreas naturales protegidas y la declaración de zonas prioritarias para la conservación representan considerables esfuerzos para el mantenimiento y uso sustentable de la biodiversidad (Arriaga et al., 2000), la conservación de la diversidad de cactáceas requiere que se contemplen las regiones más importantes para el grupo, particularmente las más ricas en microendemismos (Hernández, com. pers.) Una adición significativa en este sentido ha sido la creación del Área Natural Protegida “Real de Guadalcazar” (Hernández et al., 2001; Hernández, 2002), la cual probablemente es la zona con la mayor diversidad de cactáceas en todo el continente y fue diseñada con base en el conocimiento de la riqueza específica de cactáceas del área y a la estructuración de la variedad de tipos de vegetación, así como con relación a la presencia de algunos elementos relevantes de flora y fauna adicionales. Dicha reserva tiene un estatus estatal y resulta urgente su consideración y legalización dentro de los marcos nacionales e internacionales (Hernández et al., 2001).



1.2 Objetivos

Objetivo general:

- Realizar un estudio detallado de la diversidad y distribución espacial de Cactaceae en un cuadro de $\frac{1}{4}$ de grado (30' lat. x 30' long.) en una zona del Desierto Chihuahuense, con el objeto de evaluar su importancia para la conservación y avanzar en el conocimiento de la diversidad e incidencia de endemismos en la región.

Objetivos particulares:

- i. Identificar las frecuencias y el nivel de endemismo de las especies de cactáceas presentes en el cuadro de estudio.
- ii. Realizar una valoración de las formas de rareza de las especies de cactáceas a nivel del cuadro de estudio y en relación con el grado de endemismo de las mismas.
- iii. Priorizar el valor de conservación de las diferentes áreas dentro del cuadro a través de un análisis de complementariedad, con vistas a la creación de bases para el establecimiento de áreas naturales protegidas.
- iv. Evaluar la posible correlación entre los patrones espaciales de cactáceas y los factores ambientales preponderantes (edáficos y climáticos).

1.3 Hipótesis de Trabajo

Se esperaba que la diversidad e incidencia de endemismos de las cactáceas en el cuadro de estudio fuesen altas, dadas las características climáticas y orográficas heterogéneas de la región, relacionadas con la existencia de numerosas serranías menores que producen gradientes altitudinales, así como por la ubicación del cuadro al sur de una barrera biogeográfica notable (Sierra de Parras), en cercanía con regiones que han resultado ser especialmente ricas en especies del grupo.

La heterogeneidad altitudinal y la ubicación de la región en el centro del altiplano plantean la posibilidad de una historia biogeográfica compleja en la que posiblemente han tenido lugar cambios sucesivos en los tipos climáticos y en las comunidades vegetales, que probablemente incluyen el establecimiento de relictos y numerosos episodios de radiación adaptativa.

El análisis de factores ambientales permite evaluar la posible existencia de factores determinantes en la distribución espacial de las especies en el área de estudio, lo que puede servir para orientar estudios futuros más particulares. De forma general se esperaba obtener una correlación inversa de la altitud con respecto a la riqueza, y dada la relación de este factor determinante o distal, cabía esperar algo similar con respecto al incremento en las precipitaciones y a la reducción de temperaturas medias. La incidencia de precipitaciones y la eficiencia de las mismas en cuanto al suplemento de humedad al sustrato son factores climatológicos preponderantes en la determinación de la distribución de las plantas en general y se planteaba un efecto notable en este sentido sobre la distribución de las Cactaceae en la región. Por otro lado, se esperaba identificar a las temperaturas mínimas extremas como una limitante para la distribución de muchas de las especies, y en particular aquellas de mayores dimensiones y que no presentan adaptaciones particulares que permitan paliar el fenómeno de congelación en los tejidos vitales expuestos a la intemperie.

CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación y caracterización fisiográfica

El cuadro de $\frac{1}{4}$ de grado geográfico estudiado se ubica en la subregión principal del Desierto Chihuahuense *sensu* Hernández (2005), y abarca un área de aproximadamente 2,804.2 km² en la región norte del estado de Zacatecas y el extremo sureste del estado de Coahuila. Se encuentra entre los 24.5° y 25° de latitud norte y entre los 101.5° y 102° de longitud oeste. La delimitación geográfica y subdivisión del área puede apreciarse en la Figura 1. Dicha área está

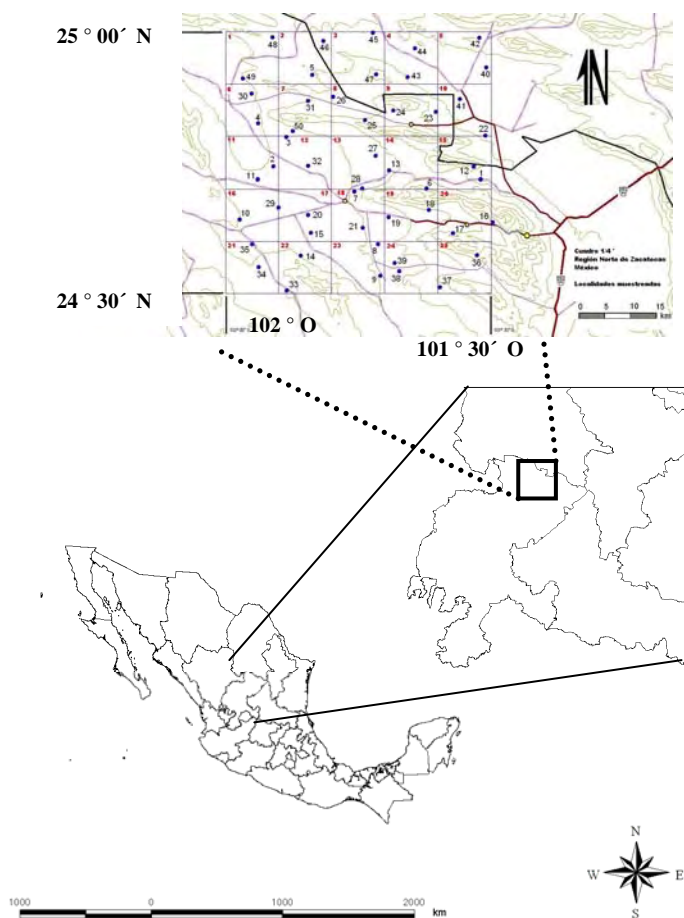


Figura 1 – Área de estudio

comprendida en las regiones fisiográficas de la Meseta Central y la Sierra Madre Oriental (INEGI, 1973). La topografía heterogénea que caracteriza a esta zona del Desierto Chihuahuense se puede apreciar en la Figura 2, en la que se muestra el gradiente altitudinal general. La mayor parte del cuadro está comprendida dentro del extenso municipio de Mazapil, Zacatecas, mientras que el resto se distribuye entre los municipios de Melchor Ocampo, Zacatecas; Saltillo, Coahuila, y en menor medida, Parras de la Fuente, Coahuila (SCT, 1996a y 1996b; INEGI, 2004).

El cuadro estudiado limita al sur y al oeste con otras zonas del municipio de Mazapil, al norte con los municipios de Parras de la Fuente y Saltillo, y al este con el municipio de Concepción del Oro. El área se encuentra dentro de la subregión principal del Desierto Chihuahuense (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005), aproximadamente a 100 km al noroeste de los valles centrales de San Luis Potosí, caracterizados por tener una gran diversidad de

Cactaceae y que incluyen a la región más diversa para el grupo a nivel mundial, el área del Huizache (Hernández et al., 2001). La heterogeneidad ambiental de la región es relativamente elevada. El extremo sureste del cuadro presenta las mayores elevaciones (hasta 3100 msnm), así como los cambios más abruptos en altitud, mientras que el extremo noroeste incluye las zonas más bajas (alrededor de 1500 msnm), aunque también se presentan algunas otras serranías transversales que le otorgan mayores elevaciones.

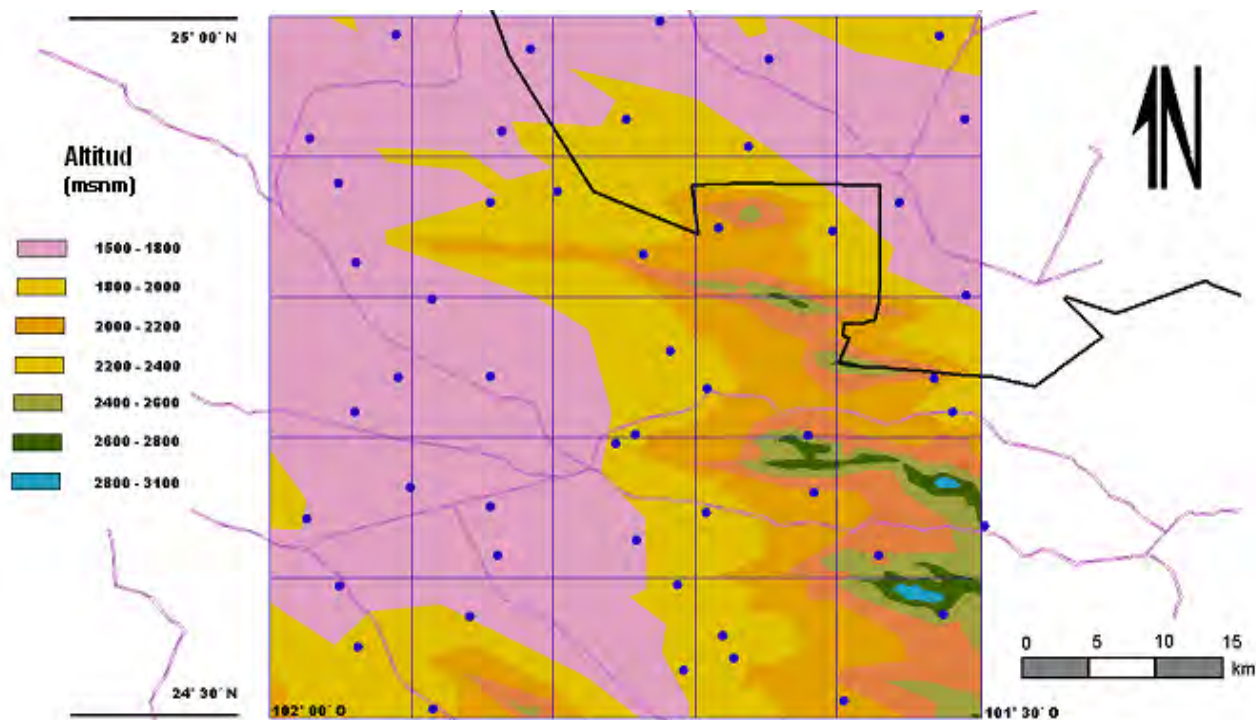


Figura 2 – Topografía del área de estudio. Se muestra la ubicación de las localidades de muestreo en color azul oscuro, los límites estatales en negro y los bordos (terracerías) principales en lila oscuro.

El área de estudio se encuentra inmediatamente al sur de la principal sierra transversal que cruza el Desierto Chihuahuense, que recibe el nombre de Sierra de Parras. Las mayores elevaciones del área se encuentran en la sierra El Mascarón, y en las inmediaciones de la sierra Las Bocas y la Sierra San Matías. En dichas serranías se presentan cumbres por arriba de los 3000 msnm y en el caso de la Peña del Águila se alcanzan los 3200 msnm (INEGI, 1972, 1975). Las sierras antes mencionadas, en conjunto con la sierra de Guadalupe, enmarcan dos valles elevados por arriba de los 2200 msnm, que son el valle de Mazapil y el valle de San José. Dichos valles drenan hacia los llanos o bajíos del noroeste en donde es frecuente encontrar extensos barriales que se pueden inundar temporalmente cuando ocurren precipitaciones extremas en el desierto. Toda esta área, limitada al norte por la sierra de Zuloaga y otras sierras menores como Santa Rita, Ninguno, Carbonero y El Toro, forma parte de la cuenca del río Aguanaval y aporta aguas subterráneas a dicho sistema, las cuales se dirigen hacia el norte, en dirección a la cuenca endorreica de la laguna de Mayrán (SRH, 1969; INEGI, 1972).

La zona de estudio está circunscrita a la región hidrológica No. 36 y en particular a la subcuenca del Río Aguanaval, la cual tiene una limitación oriental algo difusa que se entreteje con algunas otras cuencas como resultado de la presencia de serranías transversales diversas (SRH, 1953). Dicha configuración se hace notoria en la porción noreste del área de estudio, la cual es atravesada por la sierra De Enfrente, la sierra de Zuloaga, la cordillera Cerro Gordo y la sierra Lechuguillas, entre otras menores, y comprende una extensión notable de barriales o llanos inundables que drenan parcialmente hacia la cuenca del Salado (SRH, 1969). Se trata de una cuenca cerrada que a pesar de la relativa escasez de precipitaciones ha presentado una serie de lagos someros y áreas inundables a lo largo de su historia, de lo cual se desprende el nombre común de comarca o región lagunera (SRH, 1953). Cabe destacar la existencia de cinco mesas (San Antonio de Portezuelos) de origen ígneo extrusivo al suroeste de Mazapil, y la presencia de algunos macizos ígneos intrusivos en las sierras de El Mascarón y Las Bocas, principalmente (INEGI, 1971, 1972a-e y 1975a,b).

La zona no presenta actualmente ninguna formación lacustre permanente, sin embargo, es importante destacar la existencia de los barriales y el acarreamiento de material fino proveniente de las serranías hacia dichos llanos inundables. La fisiografía resulta determinante en la configuración de diversos factores bióticos y abióticos que determinan los patrones biogeográficos, factores que se revisan brevemente a continuación.

2.2 Geología, edafología y algunas consideraciones bióticas

El área de estudio presenta, como se hizo alusión, numerosas sierras plegadas con dirección este-oeste y porciones de sierras plegadas con dirección noroeste-sureste, las cuales constituyen el elemento geomorfológico predominante en la región. Su edificación se inició en el Cretácico superior y se consideran geomorfológicamente maduras (INEGI, 1973). El registro geológico abarca desde el Mesozoico al reciente. Durante el Triásico tuvo lugar un prolongado periodo de emersión, seguido de una transgresión marina generalizada con la formación de depósitos evaporítico-carbonatados que incluyen al grupo de Zuloaga (INEGI, 1973). En el Terciario inferior la geología se torna netamente continental y comprende conglomerados como los que se encuentran en dirección al Bajío de Ahuichila. También ocurrieron emplazamientos de troncos y deposiciones ígneas ácidas, así como algunos flujos piroclásticos. La preponderancia de los factores erosivos y la formación de depósitos aluviales en vasos lacustres es notable (Modificado de INEGI, 1973 y Municipios, 1989).

Las formas erosivas son típicas del Desierto Chihuahuense, e incluyen la formación de dos elementos fisiográficos generalizados: 1) las bajadas o acumulaciones de material conglomerado de diverso espesor y textura resultante de la superposición de abanicos aluviales sucesivos en la base de las serranías; y 2) los depósitos aluviales con materiales frecuentemente más finos en las zonas bajas de los valles (Peterson, 1981; citado en McAuliffe, 1994). El área presenta ocho tipos o unidades de suelo (Tabla i del anexo) que incluyen cuatro tipos edáficos básicos: Xerosol, Regosol, Litosol y Rendzina. En el anexo se proporciona información más detallada en torno a las características edáficas y el tipo de roca madre existente en el área de estudio (Tabla i), las cuales determinan la configuración de propiedades del sustrato y se han propuesto como un factor relevante en la distribución de las cactáceas.

La relevancia del factor edáfico para las plantas está dada principalmente por sus efectos sobre el acceso a los nutrimentos y al agua (Parker, 1991; McAuliffe, 1994). Las condiciones edáficas en las que viven las cactáceas en ocasiones son altamente especializadas, lo que incide directamente en su distribución espacial y en la conformación de algunos endemismos, como sucede con *Ariocarpus kotschoubeyanus*, *Echinocereus palmeri* ssp. *mazapil*, *Mammillaria coahuilensis* y *Opuntia chaffeyi* (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2004). Como menciona Ruedas (2003), la disponibilidad de agua y algunos otros recursos puede estar afectada por características edáficas como la textura del suelo (McAuliffe, 1994), el pH, el contenido de nutrimentos y la composición química específica (Alcántara y Valiente-Banuet, 1997). Otros factores relevantes con relación a los suelos comprenden el grado de compactación conferido al sustrato según su conformación edáfica y textura, la aeración, la irrigación, el drenaje adecuado y el grado de humedad retenida. La relación entre la composición edáfica y el factor hídrico (hidratación diferencial y humedad del sustrato) resulta de particular relevancia y ha sido contemplada en diversos estudios, entre los que cabe mencionar los de Steenbergh y Lowe (1969), Jordan y Nobel (1981), Parker (1988) y Ruedas et al. (2006). Numerosos estudios tocan así mismo la participación de dichos factores en relación con fenómenos de nodricismo en Cactáceas (Noy-Meir, 1973; Ehleringer, 1984; Nobel, 1989; Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; entre otros). Para una revisión detallada de las adaptaciones anatomo-fisiológicas de Cactaceae a la aridez, citadas con frecuencia por numerosos autores, se puede referir a los trabajos de Mauseth.

Es necesario recordar que existe un equilibrio dinámico específico en el que la vida interactúa constantemente con el factor edáfico y la alteración de las cualidades del sustrato ocurre frecuentemente mediante un proceso de "facilitación", en el cual un organismo afecta directa o indirectamente la disponibilidad de un recurso para otro. Algunas plantas actúan en este sentido como ingenieras del ecosistema, al ser capaces de producir cambios considerables en los factores bióticos y/o abióticos del medio. En los ambientes áridos, uno de los principales factores que pueden ser alterados en este sentido es la disponibilidad de agua (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Franco y Nobel, 1989). En regiones de climas árido, ésta suele ser baja y extremadamente variable en tiempo y espacio (Mauchamp y Janeau, 1993), y está fuertemente determinada por la localización y temporalidad de las precipitaciones y la redistribución de los escurrimientos (Cornet et al., 1988), así como por la configuración de la vegetación (Specht, 1957; Eschner, 1967; Zinke, 1967; Tiedemann y Klemmenson, 1973; Joffre y Rambal, 1988; Mauchamp y Janeau, 1993).

Diversos estudios experimentales han mostrado que los arbustos de las zonas áridas se encuentran localmente relacionados con las propiedades del suelo, el grado de retención del mismo, el comportamiento de los escurrimientos y el grado de depositación de sedimentos, pues proporcionan mayores tasas de infiltración, así como una menor pérdida de agua, suelo y nutrientes (Pressland, 1973; Jury y Bellantuoni, 1976; Elkins et al., 1986; Nulsen et al. 1986; Joffre y Rambal, 1988; Whitford et al., 1997, Dunkerley, 2000). Así mismo, los arbustos forman "islas de fertilidad" (García-Moya y McKell, 1970; Charley y West, 1975; West y Klemmedson, 1978; Barth y Klemmedson, 1982; Parker et al., 1982; Virginia y Jarrell, 1983). La configuración edáfica es pues compleja y está estrechamente vinculada con los factores bióticos, que aunados a la poco conocida historia evolutiva de la biosfera dan una idea de la dificultad del problema de vinculación de factores y sugieren la necesidad de emplear datos puntuales a escalas compatibles.

2.3 Clima de la región

Los tipos de clima fueron caracterizados en forma preliminar a mediados del siglo XX por la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). Desde 1953, la SRH destaca la incidencia de los climas de tipo árido: calientes desérticos (BWhw) y fríos esteparios (BSkw). Dichos climas del sistema Köppen fueron reclasificados en fechas posteriores en acorde con el conocimiento sobre la configuración climática altitudinal, atmosférica y topográfica de México por la doctora Enriqueta García (1964), quien destacó la presencia de los climas: BWhw(e'), Bsohw(e), Bsokw(e), BS1kw(e) y BS1kx'(w)(e)w''. Se trata de climas áridos y semiáridos con regímenes de lluvia de verano, frecuentemente calurosos, extremos y en el último caso, con lluvias invernales algo mayores y temperaturas algo más bajas que lo sitúan térmicamente como un clima semiárido templado.



Banco de niebla sobre la Sierra de Zuloaga, al norte de Mazapil, Zacatecas.

La caracterización realizada por García en fechas posteriores y que sirvió como base para la elaboración de las cartas climáticas de la CONABIO (1997a-c), constituye una valiosa aproximación al conocimiento de la climatología de la región (Hernández-Cerda, com. pers.), la cual no obstante, tiene la desventaja de no contar con suficientes estaciones meteorológicas y/o datos para algunas de sus áreas y en particular para el área de estudio que interesa al presente proyecto. Dicha desventaja se traducía en una menor resolución y congruencia con el clima real del área de estudio (Sánchez-Santillán, com. pers.).

La organización meteorológica mundial señala la necesidad de contar con el mayor número posible de datos confiables (al menos 30 años) para caracterizar adecuadamente el clima. Esto es especialmente claro al entender que el clima constituye el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto determinado (Definición de Hann, 1908) y puede interpretarse como el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar (García, pub. esp.), por lo que para conocerlo se requieren estudios que cubran amplios periodos o que puedan abordarse mediante la interpretación de registros geológicos.

Afortunadamente, en la actualidad se cuenta con información climática fidedigna de mayor amplitud procedente de un número algo mayor de estaciones meteorológicas actualmente a cargo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la cual ha permitido afinar y completar las caracterizaciones anteriores y destacar la presencia de ocho tipos climáticos (Tabla 1). La Figura 3 muestra el mapa climático elaborado para la zona de estudio, mientras que la ubicación de las estaciones meteorológicas empleadas se ilustra en la Figura 4. La clasificación climática de cada localidad de muestreo de acuerdo con el modelo descrito en los métodos se ha incluido en la relación de localidades y en la matriz climática generada para esta investigación (Tablas ii y iii del anexo, respectivamente).

Los climas presentes en el área de estudio varían desde los muy secos y calurosos con variación extrema de las temperaturas hasta los templados con verano fresco y largo, menos extremos. En toda la región predomina un régimen de lluvias de verano, aunque en realidad las lluvias son relativamente irregulares fuera de las áreas con mayor altitud, que corresponden a los climas templados. Las porciones elevadas de las sierras presentan una mayor eficiencia en la humectación del sustrato en función de un mayor porcentaje de lluvia invernal, menores temperaturas medias y extremas, así como una mayor incidencia de nubosidad, y por tanto las plantas que ahí habitan tienen más disponibilidad de agua. El resto del área presenta una considerable heterogeneidad en la distribución de la precipitación en diferentes años y tiene una canícula más pronunciada. Se presentan sequías notables en las zonas bajas, de climas más cálidos, secos y extremos.

Tabla 1 – Descripción de los climas identificados en el área de estudio (Véase la Figura 3, en la página siguiente).

Tipos de Clima	Nombre del clima con palabras (Características)
BWhw(e)	Clima muy seco o muy árido, semicálido con temperatura media anual entre 18 y 22 °C, temperatura del mes más frío abajo de 18 °C. Presenta régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal de entre 5 y 10.2 %. Extremoso. Comprende áreas bajas y llanos en los que es posible la acumulación de masas de aire frío y heladas prolongadas en pocas ocasiones durante el invierno.
BWkw(e)	Clima muy seco o muy árido, templado con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, con verano cálido. Presenta régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal de entre 5 y 10.2 %. Extremoso. Comprende áreas bajas y llanos en los que es posible la acumulación de masas de aire frío y heladas prolongadas en pocas ocasiones durante el invierno.
BS ₀ hw(e)	Clima seco o árido, semicálido con temperatura media anual entre 18 y 22 °C, temperatura del mes más frío abajo de 18 °C. Presenta régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal de entre 5 y 10.2 %. Extremoso. Comprende áreas bajas y laderas en las que ocasionalmente pueden ocurrir algunas heladas durante el invierno.
BS ₀ kw(e)	Clima seco o árido, templado con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, con verano cálido. Presenta régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal de entre 5 y 10.2 %. Extremoso. Comprende áreas bajas y laderas en las que ocasionalmente pueden ocurrir algunas heladas durante el invierno.
BS ₁ kw(e)	Clima semiseco o semiárido, templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Presenta régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal de entre 5 y 10.2 %. Extremoso. Comprende áreas bajas y laderas en las que ocasionalmente pueden ocurrir algunas heladas durante el invierno.
BS ₁ kx'(w)(e)	Clima semiseco o semiárido, templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Presenta régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal de entre 10.2 y 18 %. Extremoso. Comprende laderas y valles elevados en los que ocurren heladas puntuales importantes durante el invierno de corta duración pero en forma reiterada.
Cx'(w ₁)b	Clima templado con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, con verano fresco y largo. Presenta régimen de lluvias de verano con precipitaciones menores esporádicas repartidas a lo largo del año. El porcentaje de lluvia invernal está entre 10.2 y 18 %. Comprende laderas, mesetas, cañones y elevaciones importantes en algunas partes de las cuales se puede estancar el aire helado, suelen ocurrir muchas heladas de corta duración durante el invierno.
C(m)(f)b(e)	Clima templado con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, con verano fresco. Presenta régimen de lluvias intermedio con precipitaciones fuertes esporádicas repartidas a lo largo del año y cierta concentración de lluvias en verano. El porcentaje de lluvia invernal está entre 10.2 y 18 %. Es algo extremoso. Comprende laderas, mesetas, cañones y elevaciones importantes en algunas partes de las cuales se puede estancar el aire helado, suelen ocurrir muchas heladas de corta duración durante el invierno.

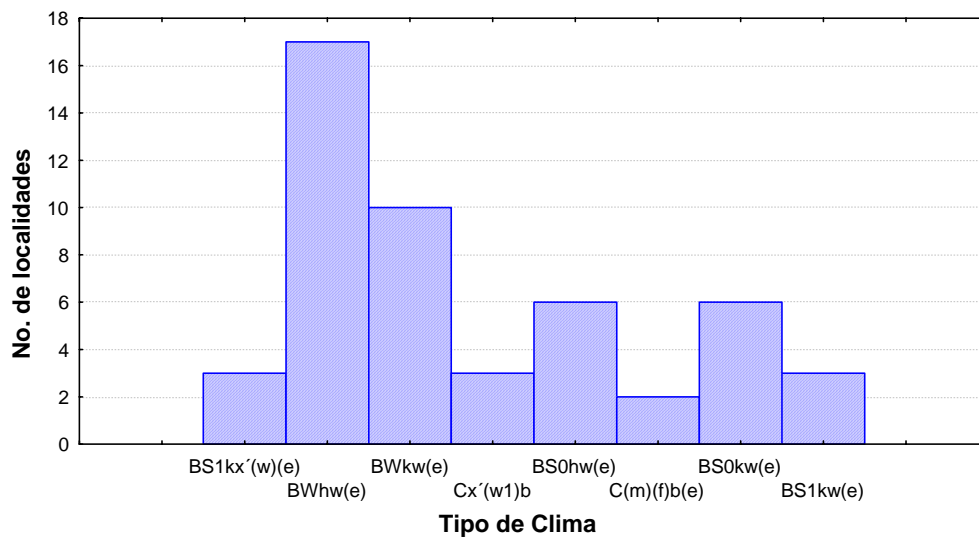
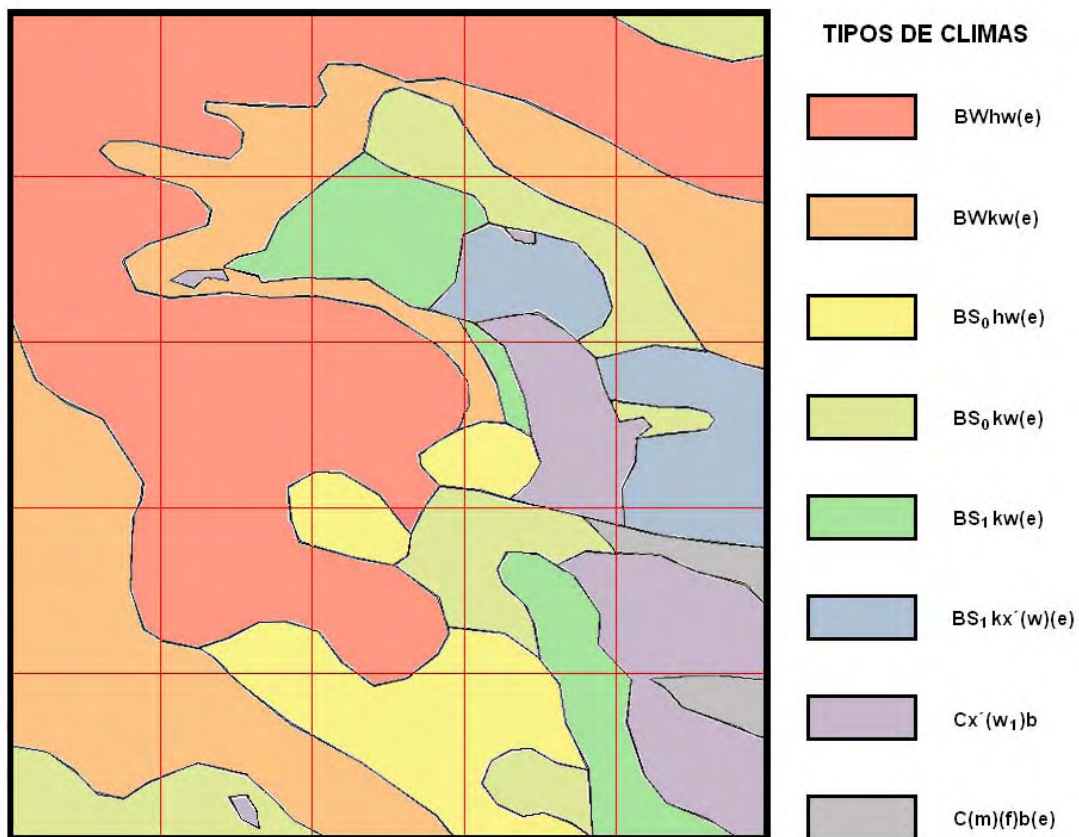


Figura 3 – Mapa climático del área de estudio elaborado con el modelo expuesto. En la parte inferior se muestra el histograma de distribución de las localidades de muestreo en los tipos de climas estimados de acuerdo al sistema de Köppen modificado por García. El trazo de las particiones es aproximado.

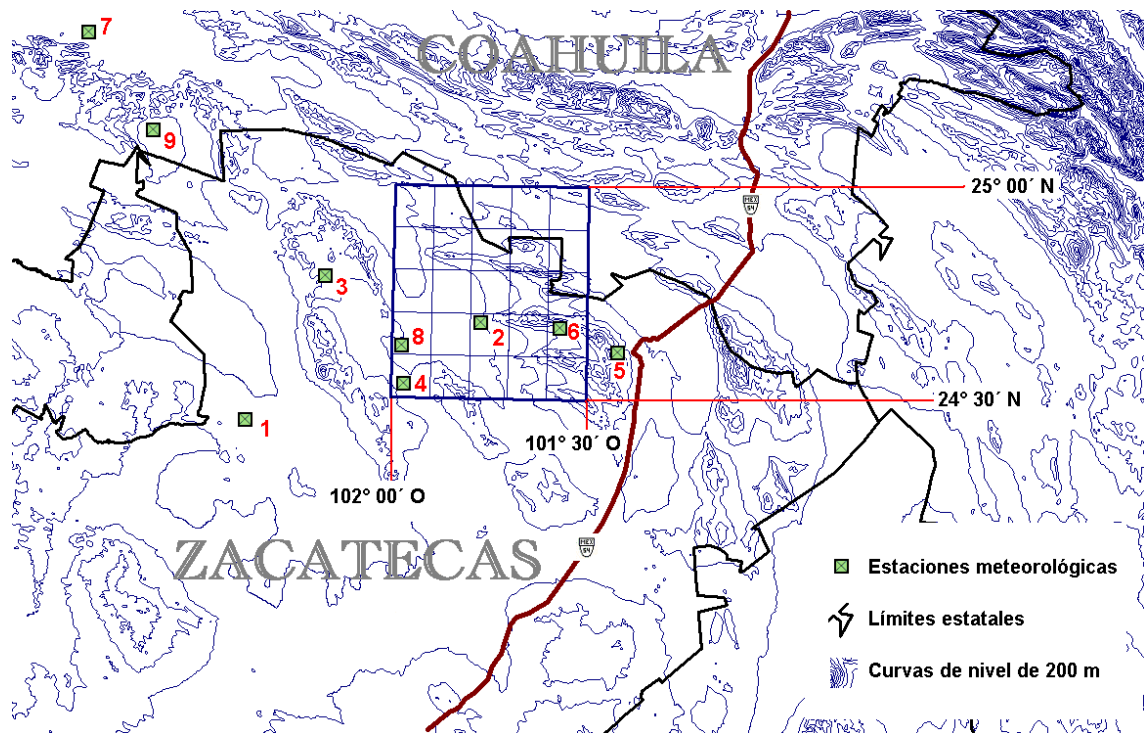


Figura 4 – Ubicación de las estaciones meteorológicas revisadas con relación al área de estudio. Las estaciones denotadas en rojo corresponden a: 1, Camacho; 2, Cedros; 3, Coapas; 4, Concepción de la Norma; 5, C. del Oro; 6, Mazapil; 7, Viesca; 8, San Rafael; y 9, Bajío Ahuichila-Viesca.

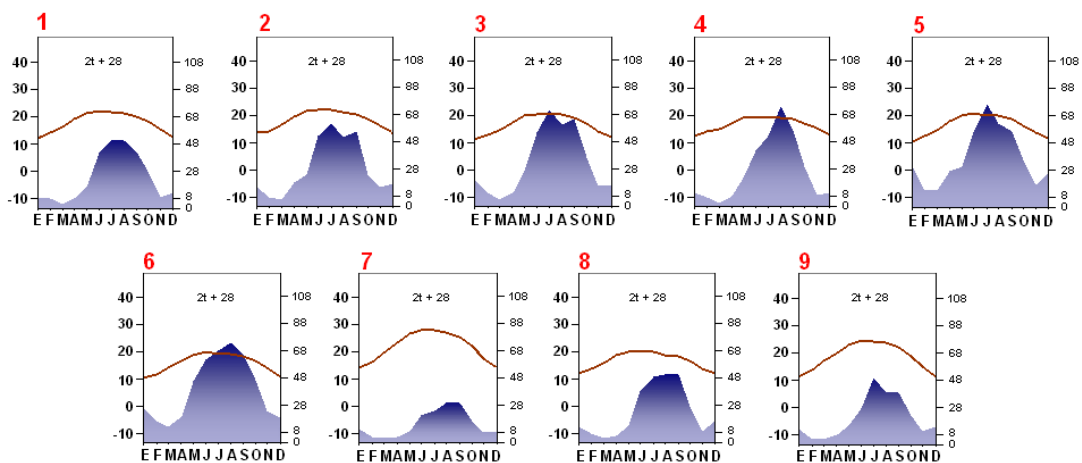


Figura 5 – Gráficas ombrotérmicas de las estaciones meteorológicas revisadas. Se puede observar el comportamiento mensual normal de la precipitación (área rellena) y de la temperatura media. El eje de la izquierda indica la temperatura media (° C), mientras que el de la derecha se refiere a las precipitaciones (mm). La numeración mostrada en la parte superior izquierda de las gráficas refiere a las estaciones citadas en la Figura 4.

La radiación solar no varía perceptiblemente por concepto de cambio latitudinal, pero sí por el fenómeno de sombreado proporcionado por las serranías, que sería interesante evaluar en estudios futuros. Las temperaturas mínimas, que como bien se sabe tienen una gran relevancia en la distribución de las cactáceas (Gibson, 1986, Pérez-González 1999, Flores y Yeaton, 2003) debido a los daños provocados por la congelación de tejidos en numerosas especies, tienen su mayor efecto en algunos valles elevados de baja pendiente como Mazapil y Zuloaga, así como en las áreas bajas del noroeste. La duración de las heladas resulta especialmente notable en éstas últimas y se torna aún mayor en las extremas regiones del Bajío Ahuichila y Viesca, justo al norponiente del cuadro geográfico. Dichas temperaturas estresantes acontecen usualmente en los meses de enero y febrero, aunque pueden extenderse ocasionalmente hasta abril. Para una relación más detallada de la caracterización climática de la región se remite al lector a la Tabla **iii** del anexo, en donde se plasma la matriz climatológica regional obtenida, así como a la cartografía citada con anterioridad. La Figura 5 muestra los diagramas ombrotérmicos de las estaciones meteorológicas empleadas en la caracterización climática.

Los vientos predominantes son de gran importancia en la determinación climática (Sánchez-Santillán, com. pers.) y en el caso de la región suelen proceder del norte y noroeste, en lo que respecta a superficie (Instituto de Geografía, UNAM, 1989), mientras que a niveles más altos dominan los vientos del noreste (SMN, 2002). La distribución de los vientos predominantes entre los 2700 y los 3500 msnm observados mediante sondeos atmosféricos con globos sonda (SMN, 2000-2002; Figura **i** del anexo) confirma una situación de aporte potencial de humedad por parte de los vientos del otoño e invierno, el efecto moderado de los "nortes" y la relativamente escasa entrada de humedad durante el verano, estación en la que ocurren torrenciales pero raras precipitaciones. El establecimiento estacional de bancos de niebla asociados a la entrada de frentes fríos invernales tiene efectos relevantes sobre el nivel de radiación y la disponibilidad de agua en algunos bajíos y en las serranías, cuyas porciones más elevadas llegan a presentar hasta 20 días con niebla al año. La niebla suele presentarse en patrones intermitentes y puede cubrir periodos considerablemente más extensos.

2.4 Tipos de Vegetación

Las asociaciones vegetales del Desierto Chihuahuense presentes en el área de estudio incluyen: matorral de *Larrea tridentata*, *Larrea-Yucca*, *Agave lechuguilla-Hechtia*, mezquital de *Prosopis* (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005), y matorral rosetófilo en el que dominan especies como *Agave lechuguilla*, *Hechtia* sp., *Dasyilirion* sp., algunas cactáceas e incluso – en ocasiones – *Yucca bondplandiana*. Existen algunas áreas bajas y pendientes ligeras de pie de monte cubiertas parcialmente por nopaleras (descritas por Miranda y Hernández, 1963) en las que domina *Opuntia rufida*, y en pocos casos *O. rastrera*; dichas nopaleras parecen tener un fuerte vínculo con prácticas de pastoreo y en muchos sitios se observan estrechamente entremezcladas con manchones de bosques cerrados de *Prosopis* sp. y *Acacia* sp (Mezquitales y huizachales).

Las áreas de mayor elevación presentan asociaciones montanas de carácter boscoso: el chaparral de encino (*Quercus*, *Fraxinus*, entre otros) puede estar entremezclado con matorral rosetófilo; y es frecuente encontrar bosques de Junípero-Piñón (*Juniperus*, *Pinus*), los cuales aparentemente conforman manchones aislados en las partes elevadas de las serranías, por lo que es posible que constituyan un relicto de una distribución anterior de mayor amplitud. También existen bosques dominados por el género *Pinus*, pudiendo estar presentes, como lo mencionan Henrickson y Johnston (1986), *Quercus* y *Cupressus*. La presencia de *Ephedra* sp. en áreas elevadas es notable. Las yucas y los agaves se encuentran representados en la mayor parte del área, al igual que las cactáceas (Obs. Pers), que se presentan inclusive en sitios considerablemente elevados, cerca de los 3000 msnm.



Matorral desértico dominado por *Larrea tridentata*, Melchor Ocampo, Zacatecas. Destacan los especímenes de *Ferocactus pilosus* sobre un sustrato rocoso.

El matorral xerófilo, que incluye al matorral crasicaule, al matorral desértico rosetófilo y al matorral desértico micrófilo (descritos por Rzedowski, 1966), domina la mayor parte de las serranías en niveles medios e inferiores. Dicho matorral se presenta en forma espaciada y poco densa en algunos sitios en los cuales existen especies de pequeñas dimensiones, mientras que puede tener mayores densidades y presencia de arbustos y árboles (*Prosopis* sp., *Acacia* sp., *Dasyllirion* sp., *Yucca bondplandtiana*, *Fouquieria splendens*, *Koeberlinia spinosa* y *Flourensia cernua*, indistintamente pero en diverso grado de dominancia) en algunas áreas bajas y en ciertas laderas de las serranías (Obs. Pers).

Una porción significativa del área de estudio está comprendida por llanos inundables con escasa vegetación en los cuales puede coexistir *Larrea tridentata* con algunas especies arbustivas, algunas especialistas edáficas (P.ej. *Ariocarpus kotchoubeyanus*) y plantas anuales. Las zonas bajas inundables suelen corresponder a suelos aluviales con elevado contenido de carbonatos e inclusive fases sódicas (INEGI, 1971, 1972a,b, 1975a), lo que restringe notablemente el desarrollo de la vegetación. Por último cabe mencionar la existencia de pequeñas áreas aisladas con vegetación gipsófila (INEGI, 1972, 2000 y cartas de uso de suelo de 1973 y 1975). Para una descripción más detallada de los tipos de vegetación característicos del Desierto Chihuahuense, varios de los cuales se presentan en el área de estudio, se puede referir a los trabajos de Johnston (1974), Marroquín (1974), y Henrickson y Johnston (1986).

La configuración actual de la vegetación en el Desierto Chihuahuense responde a un reacomodo histórico de tipos vegetacionales que ha tenido lugar especialmente durante el cuaternario (Briones, 1994). Se han efectuado pocos estudios paleoclimáticos y paleovegetacionales, entre los que destaca la labor de Betancourt y Van Devender (1990), que se avocaron al estudio de las madrigueras o nidos de *Neotoma* (un género de roedores especialmente interesante para la paleocronología, pues cementa con su orina toda una colección de fragmentos vegetales) como un registro histórico de los cambios en los últimos 50,000 años. Asimismo, existen diversos registros arqueológicos de restos de cactáceas empleadas por diversos grupos humanos y que denotan su importancia durante la prehistoria de Mesoamérica. Paralelamente, la comprensión de la geología y la fauna fósil, así como el estudio paleontológico de otros grupos vegetales, en especial las gramíneas y gimnospermas, ha permitido reconstruir a grandes rasgos los cambios vegetacionales ocurridos con los periodos glaciales e interglaciales en el norte de México. Martin y Mehringer (1965) sugieren – con base en 47 estudios palinológicos – que los pisos de la vegetación bajaron entre 900 y 1200 m durante la última glaciación, hace alrededor de 11,000 años. En relación con dicha fluctuación de los pisos vegetacionales en función del cambio climático, King y Van Devender (1977) señalan que la vegetación en el pleistoceno tardío fue una mezcla de bosques y especies desérticas, mientras que diversos estudios apuntan hacia la formación de ambientes relictos de características variables (Van Devender, 1977, 1986; Briones, 1994). Van Devender (1986) indica que hace tan sólo 4,500 años se estableció por última vez un corredor de gobernadora (*Larrea tridentata*) entre los desiertos de Chihuahua y Sonora, enfatizando la probable extensión actual de los desiertos norteamericanos como la máxima extensión del presente periodo interglacial.

La fluctuación climática y vegetal que ha caracterizado el centro y el sur de la región del Desierto Chihuahuense en los últimos 1.8 millones de años, favoreció enormemente la diversificación de un gran número de especies de ambientes desérticos y boscosos, sin someter a la biota a niveles extremos insalvables (Van Devender, 1977, 1986). Tal diversificación ha tenido lugar tanto a nivel altitudinal como latitudinal, puesto que los cambios climáticos determinan el establecimiento de los pisos de vegetación y la configuración topográfica heterogénea de la región ha preservado una serie de ambientes relictos que funcionan a manera de refugios para la biodiversidad. La clasificación de los tipos de vegetación se presenta en el anexo (Tabla **xii**).

2.5 Población y actividad humana

El área de estudio abarca gran parte de los municipios de Mazapil (26,733 habitantes) y Melchor Ocampo (3,840 habitantes), en el estado de Zacatecas, así como una porción de los municipios de Saltillo y Parras de la Fuente, en el estado de Coahuila. Sin embargo cabe mencionar que la mayor parte de la población se concentra en la porción Zacatecana y que la porción del área de estudio comprendida dentro de Coahuila está extensamente despoblada (estimada en menos de 2000 habitantes). Las proyecciones representadas en el condensado municipal de Zacatecas (Municipios, 1989) mostraban una tendencia a la baja para el caso de Melchor Ocampo y a un ligero aumento en Mazapil. Cabe aclarar que la mayor parte de la población de Mazapil habita en la cabecera municipal y en el poblado de Cedros (Municipios, 1989; CONAPO, 1996). En este municipio parece existir cierto auge a raíz del descubrimiento de nuevas minas que pudieran atraer un desarrollo urbano, oportunidades de mejora en el nivel de vida (Western Silver Co., 2004) y una potencial alteración del entorno. Actualmente la superficie urbanizada es mínima y comprende: la cabecera municipal de Mazapil, el poblado de Cedros, la cabecera municipal de Melchor Ocampo, el poblado de La Maroma y algunos caseríos aislados. La tenencia de la tierra corresponde principalmente al sistema ejidal, aunque existen algunos pequeños y medianos propietarios de rancherías.

El pastoreo está centrado en el ganado caprino, aunque también existe ganado equino y vacuno. El primero abarca inclusive a la mayoría de las serranías aunque a un nivel relativamente poco denso en comparación con áreas similares en San Luis Potosí, los valles centrales de Zacatecas y otras áreas del sur de Coahuila (Obs. Pers). El ganado caprino parece tener un efecto especialmente grave sobre las especies de cactáceas globosas, tanto por efecto del pisoteo y la alteración de la vegetación, como por la quema y uso intencional de todo tipo de cactus como forraje ocasional. Quizá esto es más notorio en el caso del desarrollo de nopaleras. Algunas áreas poco extensas son empleadas para la agricultura de temporal y en contados casos para la agricultura de riego.

En el ejido de Cedros se tiene una pequeña industria rural para la producción de Sotol, un destilado de *Dasyliirion* sp. Aunque existe un vivero local parece ser que la mayor parte del material empleado proviene del campo y es altamente probable que se estén alterando las estructuras vegetacionales. En el municipio de Melchor Ocampo existe un cierto desarrollo para la explotación de fibras de *Agave lechuguilla* (Ixtle) y una introducción limitada de *Agave asperrima*. En el pasado existieron industrias regionales basadas en la explotación directa e incontrolada de recursos del desierto, en especial en cuanto a la extracción del hule de Guayule (*Parthenium incanum*) durante el periodo de la Segunda Guerra mundial y la producción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*). Actualmente las poblaciones del primero son escasas, mientras que el segundo continúa en explotación con un bajo rendimiento dada la mala práctica de arrancar de tajo desde la raíz a las plantas, lo que ha resultado en una menor abundancia y en plantas más pequeñas.

En Mazapil existen algunas manufacturas y se encuentran varios desarrollos mineros (Municipios, 1989). Las explotaciones pasadas contaminaron algunos terrenos y las muestras de los efectos erosivos son muy conspicuas, aunque de carácter limitado. La actividad silvícola parece desarrollarse en un nivel bajo en la actualidad, sin embargo es visible un fuerte contraste entre zonas arboladas y no arboladas en algunos sitios – en especial entre Concepción del Oro y Mazapil, en los alrededores del poblado fantasma de Aranzazú – los cuales sugieren una pasada deforestación desmedida atribuible a la minería colonial. Existe actualmente una explotación del carbón de Mezquite (*Prosopis* sp.), así como de madera de piñón y pino (*Pinus cembroides*, *Pinus* sp).

En general, es notoria la falta de lineamientos y oportunidades adecuadas para un manejo integral de los recursos. En el modelo de desarrollo seguido por México, en la explotación de los recursos está frecuentemente implícita su destrucción y degradación, para lo cual no sólo han actuado los factores socioeconómicos, sino también los culturales, propios del mismo subdesarrollo (Chan Castañeda et al., 1995). Es primordial buscar alternativas y contemplar la problemática social dentro de los potenciales planes de conservación para progresar de manera efectiva hacia un aprovechamiento sustentable de los recursos de la región.

CAPÍTULO 3 - MÉTODOS

3.1 Trabajo de campo y gabinete

La presente investigación comenzó con la elaboración de un listado prospectivo de las especies de Cactaceae presentes en la región Norte de Zacatecas y sur de Coahuila, para lo cual fue de amplio valor la consulta de la Base de Datos de Colecciones de Cactáceas de Norte y Centro América (Hernández et al., 1993). Se consultó el acervo de Cactaceae del Herbario Nacional (MEXU). El desenvolvimiento del trabajo de campo en numerosas ocasiones determinó la necesidad de efectuar ulteriores consultas al herbario.

El cuadro de estudio fue dividido en 25 subcuadros de 6 minutos por lado y se efectuaron muestreos en dos localidades por cada uno de los subcuadros resultantes, con base en su representatividad y accesibilidad, poniendo especial énfasis en obtener una distribución dispersa de las colectas a través de la región y evitando áreas perturbadas. Las localidades de muestreo y el mapa explicativo del cuadro se muestran en la Tabla ii y en la Figura ii del anexo, respectivamente. En cada localidad de muestreo se realizaron colectas y observaciones a lo largo de un transecto aproximadamente rectilíneo de 3 km de longitud, cuyas coordenadas fueron determinadas a través del sistema global geoposicionador (GPS). En los sitios accidentados o de relieve pronunciado se midieron distancias rectilíneas de 1.5 km vía satelital, aunque es muy probable que los transectos efectivos superaran los 3 km. Las colectas se efectuaron bajo el permiso de colecta científica otorgado al Dr. Héctor M. Hernández Macías por la SEMARNAT, folio DGVS/019811 (FLOR-0004).



Turbinicarpus beguinii a la sombra de los arbustos, serranías en torno a Mazapil.

Los muestreos fueron efectuados entre 2005 y 2006 en los siguientes periodos: 5 muestreos durante el mes de marzo, 6 en abril y 28 en julio de 2005; y 11 muestreos en febrero de 2006. Todo el material colectado fue trasladado al Instituto de Biología de la UNAM, en donde se procesó e integró al Herbario Nacional (MEXU). En las salidas al campo se recolectaron tallos desarrollados o secciones de los mismos, especímenes jóvenes, plántulas, flores, botones, frutos y semillas, siempre que estuvieron disponibles. En la mayor parte de las recolectas, cuando se disponía de material abundante, se fijaron especímenes en FAA (Berlyn y Miksche, 1976). Además, cuando se dispuso de material floral, se tomó una muestra de tejido de los tépalos y se secó en sílica gel para futuros estudios moleculares.

En cada localidad se registraron los datos básicos relacionados con la colecta, incluyendo una descripción general del suelo y del tipo de vegetación dominante. Así mismo se incluyó una observación de la **escasez relativa** de las cactáceas definida como alta o baja en función de la observación de menos de 10 ejemplares de la especie respectiva a lo largo del transecto.

3.2 Manejo de la información

La información compilada de diversas fuentes (mapas e imágenes digitales procedentes del INE, CONABIO, INEGI, Instituto de Geografía de la UNAM, y University of Maryland) así como los mapas elaborados para la presente investigación, se manejaron con el apoyo de los SIG Arc View, IDRISI y Diva Gis. Dicha información, la cartografía impresa de INEGI y CONABIO, así como algunos mapas elaborados por el Instituto de Geografía de la UNAM (ver referencias), permitió llevar a efecto una planificación y seguimiento sistemático del desarrollo de las colectas para poder cubrir una mayor variedad de ambientes.

La información geográfica facilitó la construcción de matrices edafológicas, geológicas y de tipos de vegetación, las cuales eran necesarias para abordar la relación entre la distribución de las especies y los principales factores ambientales. La recopilación y revisión de un extenso número de datos meteorológicos originales permitió la construcción de una matriz climática detallada para la región. La información recabada en la libreta de campo se revisó y capturó en la Base de Datos de Colecciones de Cactáceas de Norte y Centro América (Hernández et al., 1993), que opera con el software BIOTA, donde se cotejó nuevamente. Se ingresó un total de 764 nuevos especímenes (778 láminas) al Herbario Nacional (MEXU), y la información respectiva fue incluida en las bases de datos, junto con la información concerniente a 53 especímenes previamente registrados para el área. Para el procesamiento y análisis de la información se empleó el siguiente software: Microsoft Excel 2000, Statistica 6.0, y pc-ord.

Se generó una serie de matrices de información con objeto de posibilitar la caracterización de los patrones de distribución de Cactaceae en el cuadro de estudio, así como para facilitar el desarrollo de posteriores análisis con vistas a comprender la relación entre dicha distribución y la incidencia de los diversos factores ambientales, evaluar la importancia de la diversidad del grupo en la región y proponer áreas prioritarias para la conservación.

Se elaboró una matriz de presencia / ausencia de las especies en las localidades y en los subcuadros respectivos a partir de la cual se calcularon las frecuencias relativas, las cuales representan una medida directa de la representatividad de las especies particulares en el área de estudio.

El cálculo de las **frecuencias relativas** suele manejarse como un porcentaje, de la siguiente forma:

$$\text{Frel} = n * 100 / N \quad (1)$$

en donde: Frel = frecuencia relativa porcentual (%)

n = número de localidades o subcuadros en los que el taxa se encuentra presente

N = número total de localidades o subcuadros muestreados

Las frecuencias relativas, no obstante, carecen de valor en términos de la evaluación cuantitativa local. Aunque el presente estudio no se avocó a la evaluación de tales parámetros, es preciso hacer notar que las observaciones de la escasez relativa de las especies que se definen la sección anterior (3.1) permitieron la construcción de una matriz de escasez que sirvió para estimar la rareza demográfica relativa y los ponderados de rareza (Sección 3.3.1).

La extracción detallada de datos de las cartas impresas del INEGI permitió la elaboración de una matriz edafológica y una matriz geológica, mientras que se empleó el despliegado de un mapa de vegetación elaborado por el INE a partir de imágenes satelitales, cartografía y exploración de puntos de control, para construir una matriz de los tipos de vegetación para las localidades de muestreo. Ésta última fue cotejada y corregida dando preferencia a las observaciones realizadas durante el trabajo de campo.

La construcción de la matriz climática incluyó la revisión de toda la información mensual pertinente disponible en la Base de Datos CLIMCON del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2006), que fue cotejada en su totalidad con las fichas impresas del SMN, en el acervo del Observatorio Meteorológico de Tacubaya (SMN, 1940-2005). Se cotejó e ingresó a la base climática un total de 42,834 datos que sirvieron para los fines de la presente investigación. Dicha información comprende las estaciones meteorológicas siguientes: Camacho, Cedros, Coapas, Concepción de la Norma, Concepción del Oro, Mazapil, Viesca, San Rafael, Bajío de Ahuichila (Figura 4, Sección 2.3), un listado de las cuales se puede hallar en el anexo del presente, en el que se han incluido sus datos principales y normales climatológicas (Tabla v). Para disponer de periodos de medición más largos se recopiló toda la información pertinente publicada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1953, la cual queda circunscrita a algunas de las estaciones denotadas antes o a sus antecesoras, comprendidas en la Región Hidrológica No. 36 (Cuencas de los Ríos Nazas y Aguanaval).

Las variables climáticas fueron, por una parte: temperatura media, temperaturas mínima y mínima extrema, temperaturas máxima y máxima extrema, y precipitación total. Por otra parte, para varias estaciones se contó con variables adicionales: evaporación, precipitación máxima, días con niebla, días con granizo, días con helada y días con precipitación apreciable. Para la primera serie de datos se cuenta con periodos de entre 40 y 64 años y sólo en las estaciones San Rafael y Concepción de la Norma se presentan variables con menos de 30 años de registro. Para la segunda serie de variables fue necesario realizar extrapolaciones menos precisas siempre que fuera posible. Los métodos climatológicos se detallan en la sección 3.3.3.

3.3 Análisis de datos

La información condensada en la matriz taxonómica se contrastó con toda la información disponible en la Base de Datos de Colecciones de Cactáceas de Norte y Centro América (Hernández et al., 1993), tanto al nivel del Desierto Chihuahuense, como al nivel estatal para determinar la incidencia de endemismos y para destacar la presencia de nuevos registros a diversos niveles geográficos. La presencia de los nuevos registros también se cotejó con el Catálogo de Cactáceas Mexicanas (Guzman et al., 2003).

3.3.1 Evaluación de la rareza relativa

El término “rareza” se aplica con frecuencia en el área de la biología de la conservación dado que se le relaciona directamente con mayores niveles de amenaza y de peligro de extinción de los taxa (Primack, 1993; Gaston, 1994). Dicho término implica “la cualidad de lo diferente o peculiar; algo fuera de lo usual, abundante y/o dominante” que se puede extender a diversas escalas y enmarcar en relación con distintos factores. Tal característica se puede evaluar de acuerdo a diversas definiciones y para efectos de simplificación y mayor claridad se centrará en los conceptos planteados por Rabinowitz (1981), quien sugiere tres categorías: 1) la rareza biogeográfica, que como su nombre lo indica está relacionada con la amplitud del área de distribución de los taxa, 2) la rareza o especificidad de hábitat, que involucra la restricción o limitación en el tipo de hábitat ocupado por los taxa, y 3) la rareza demográfica, que se refiere a la baja densidad poblacional. En el presente trabajo se evaluó la rareza relativa a través de cinco componentes, dos de ellos son aproximaciones a la rareza biogeográfica, dos más son valoraciones de la especificidad de hábitat y por último se tiene a la medida de escasez relativa (Sección 3.1) como estimado de la rareza demográfica relativa.

Los componentes a los que se hace referencia corresponden a las siguientes valoraciones: RG1) rareza geográfica en función de la incidencia y nivel de endemismos; RG2) rareza geográfica como apreciación de la amplitud geográfica relativa; RH1) rareza de hábitat en función del grado de especialización edáfica; RH2) rareza de hábitat en función del grado de especialización climática, y RD) rareza demográfica relativa en función de las observaciones de la escasez relativa. Utilizando dichas valoraciones se estimó el tipo de rareza según la clasificación de Rabinowitz (1981) y se propuso un índice ponderado (rareza media), que se describe más adelante. Todas las valoraciones porcentuales fueron adecuadamente transformadas a una escala de 0 a 1. El criterio de restricción para seleccionar las especies como "raras" (de acuerdo a la información del área estudiada) fue que el valor de rareza en cada caso igualara o superara media unidad (rareza ≥ 0.5), ya que los valores de los componentes y ponderados de la rareza se asignaron entre un mínimo de 0 (menos rara) y un máximo de 1 (más rara).

La **amplitud geográfica (RG)** de las especies fue valorada con relación al nivel de endemismos (RG1) y en función de la amplitud geográfica relativa (RG2). El endemismo de una especie fue determinado a nivel regional del Desierto Chihuahuense y a nivel estatal (Zacatecas y/o Coahuila), con lo que se construyó una matriz de incidencias dicotómica (0 y 1). La incidencia regional fue promediada con la incidencia estatal y todas las especies con un valor igual o mayor a 0.5 fueron consideradas "raras" en este sentido.

Las frecuencias relativas (ecuación 1, Sección 3.2) proporcionan una forma válida de estimar u obtener una idea del alcance biogeográfico o amplitud geográfica relativa (RG2) de un taxón con relación a un área conocida. Es necesario, no obstante, señalar que se trata de una aproximación algo general, basada en presencias puntuales y que se requiere de estudios futuros que permitan elucidar con mayor certeza los tamaños de las áreas de distribución de las especies para conocer de manera más precisa este tipo de rareza. Lo ideal sería contar con una valoración detallada del tamaño del área de distribución, problema complejo que requiere de un mayor acervo de información para ser abordado adecuadamente para todas las especies, por lo que el presente trabajo se atiene a la información disponible del nivel de endemismos, asumiendo que la valoración de las frecuencias relativas (Tabla iv del anexo y Figura 6, Sección 4.1) proporciona una idea de la amplitud del área de distribución geográfica de las especies. En cierta forma, se puede equiparar al inverso de la frecuencia relativa de las especies con el criterio de amplitud en la distribución geográfica como forma de rareza, puesto que la determinación de las frecuencias se basa en observaciones puntuales de presencia de las especies de Cactaceae para localidades individuales en el cuadro. Las especies con las mayores frecuencias presentan una distribución en el área de estudio menos restringida que aquellas con bajas frecuencias.

La evaluación del segundo tipo de rareza, la **especificidad de hábitat (RH)**, se abordó con mayor rigor, mediante el análisis de la información condensada en las matrices ambientales. En este caso se destacó la existencia de especializaciones edáficas (RH1) y climáticas (RH2). Las primeras se definieron en función de la diversidad de suelos que se presentan en una localidad según la matriz edafológica construida con la cartografía del INEGI (1971,1972 y 1975; Sección 3.2). Se tomaron los tipos de suelos que ocurren en un radio de 3 km del punto inicial de los transectos, con lo que una localidad puede presentar entre uno y tres tipos de suelos distintos (Tabla i del anexo). Se plantea como un supuesto del método que las plantas se establecen en todos los tipos de suelo asociados a una localidad, pues resulta imposible identificar el tipo exacto en el área cubierta por cada especie, más aún cuando éste no es el enfoque del presente trabajo y los métodos de muestreo e información no lo permiten. Debido a que se presentan uno o más tipos de suelos en cada localidad, las especies pueden presentar un total de entre 1 y 12 combinaciones de suelos. Aquellas presentes en 12 combinaciones se definieron como generalistas extremas y presentan una rareza edáfica relativa (a nivel del área de estudio) de 0, mientras que aquellas presentes en muy pocas combinaciones se acercan al máximo de rareza edáfica relativa de 1.

Las especializaciones climáticas (RH2) se valoraron de forma semejante, aunque en este caso las localidades sólo pueden presentar un tipo de clima y por ende sólo existen 8 posibilidades. La matriz climática (Tabla iii del anexo) se generó a partir de la valoración climática realizada como parte de este trabajo y cuya elaboración se detalla más adelante. Las especies se pueden presentar en un mínimo de un clima (rareza máxima) y un máximo de 8 climas (rareza mínima).

El tercer tipo de evaluación de la rareza, la **rareza demográfica relativa (RD)**, se abordó mediante el análisis de la matriz de escasez relativa y aunque tiene la desventaja de no partir de fuentes primarias de datos objetivos (se trata de una medición de campo cualitativa), constituye un acercamiento aceptable para la definición de áreas prioritarias para la conservación (Hernández, com. pers.).

Clasificación de Rabinowitz y rareza media propuesta

Se clasificaron las formas de rareza siguiendo los lineamientos de Rabinowitz (1981), para lo cual se aplicaron criterios dicotómicos a los promedios de cada categoría o componente de rareza: RG1 y RG2, RH1 y RH2, y RD. Se utilizó el criterio de la media unidad (0.5) antes referido para situar las categorías de rareza para cada especie, en forma tal que los valores iguales o mayores a 0.5 corresponden a los atributos de mayor grado de rareza en las categorías de Rabinowitz (distribución geográfica restringida, alta especificidad de hábitat y escasa abundancia local relativa), mientras que aquellos inferiores a 0.5 son sus opuestos y denotan un menor grado de rareza (distribución geográfica amplia, baja especificidad de hábitat y alta abundancia local relativa). La clasificación resultante fue contrastada con una evaluación global (rareza media) de la información disponible en torno al grado de rareza empleando el método de regresión lineal. La evaluación global, que se propone como una medida de **rareza media**, se obtuvo mediante el pesado equitativo de los cinco componentes considerados (RG1, RG2, RH1, RH2 y RD) para obtener un promedio estandarizado en una escala de 0 a 1. Dadas las interesantes deducciones generadas mediante la comparación de la evaluación global (rareza media propuesta) y la evaluación de Rabinowitz, y especialmente en función del mayor contenido de información de la primera, se optó por revisarla a mayor detalle y desarrollar un análisis de complementariedad adicional para las especies más raras en función de la misma.

3.3.2 Análisis de complementariedad

El principio de complementariedad ha sido utilizado en diversas ocasiones para optimizar la conservación de la biodiversidad en áreas específicas (Humphries et al., 1991; Williams et al., 1991; Pressey et al., 1993; Hernández y Bárcenas, 1996). El método exige la ubicación de un área de primera prioridad, definida por la incidencia del mayor número de especies. La asignación de áreas de prioridad decreciente se hace en función de la incidencia de un número decreciente de especies complementarias, es decir, de especies no presentes en el área de primera prioridad o en las áreas de prioridad inmediatamente superior al área en cuestión.

La complementariedad es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$PC = RC * 100 / CO \quad (2)$$

en donde: PC = porcentaje de complementariedad
RC = complemento residual
CO = complemento

El complemento (CO) se define como el número total de especies en el cuadro de estudio, mientras que el complemento residual (RC) corresponde al número de especies no presentes en las áreas de prioridad mayor que anteceden al área en cuestión (Gómez-Hinostroza y Hernández, 2000).

Se efectuó un análisis general que incluyó a toda las especies de cactáceas halladas en el área de estudio. El método también se aplicó a diversas matrices con el objeto de incorporar las evaluaciones en torno a la rareza y de esta manera ensayar formas de englobar a las especies raras dentro de la priorización de áreas para la conservación. Ésto se realizó mediante la restricción de las matrices de ausencia / presencia en función de los distintos tipos de rareza, es decir, mediante la selección de las especies con valoraciones de rareza iguales o superiores a 0.5 (Criterio de la media unidad, Sección 3.3.1).

3.3.3 Modelo climático y análisis de correlación de factores ambientales

Inicialmente se elaboraron matrices ambientales con la información climática digital generada por CONABIO (2006) y las cartas climáticas impresas (CONABIO, 1997), que están construidas siguiendo los trazos de isoyetas realizados por García hasta 1988. También se probó la posibilidad de utilizar una matriz generada por el modelo climático World Clim (Universidad de California, EUA, 2005; www.worldclim.org), el cual resultó inapropiado por el nivel de detalle buscado y por la relativa escasez de información climática digitalizada disponible. Por otra parte, el filtrado excesivo de la información en los sistemas de información geográfica (SIG) puede llevar a una mala apreciación de la mayor parte de las variables climáticas y a un bajo poder de resolución en una escala muy fina (N. Sánchez-Santillán, com. pers.; E. Martínez-Meyer com. pers.) Como se adelantó en la sección introductoria, esto llevó a la recopilación de datos descrita y a la generación de una evaluación propia y más detallada para la región.

La información climática referida en la sección 3.2 fue procesada a través de un método de rellenado de espacios vacíos sugerido por la Dra. Norma Sánchez Santillán. Dicho método ha sido empleado exitosamente en diversas evaluaciones y es de uso frecuente en los estudios climatológicos. En términos generales se efectúa un cálculo de medias mensuales para rellenar incógnitas empleando los datos mensuales inmediatos de los años anteriores y/o posteriores según un conjunto básico de procedimientos que se obviará del presente. Siguiendo este método se completó la gran mayoría de los espacios sin datos en los periodos climáticos. Es posible abordar métodos alternativos de series de tiempo que pueden arrojar resultados aún más completos y certeros, mas se considera bastante aceptable el acercamiento utilizado (Sánchez-

Santillán, com.pers.) Se realizaron posteriores pruebas de homogeneidad de varianzas de los datos correspondientes a las diversas variables por estación para corroborar la posibilidad de anexar la información de estaciones meteorológicas antecesoras, es decir, de aquellas estaciones que cambiaron de institución en custodia o de encargados locales. La mayoría de la información procedente de estaciones meteorológicas tentativamente compatibles pudo ser efectivamente integrada.

La información resultante fue analizada siguiendo los criterios de García (1964, 1968) para la clasificación climática según el sistema de Köppen modificado. En esta forma se obtuvieron las normales climatológicas para cada estación disponible. El algoritmo de Miranda-García (García, 1988) fue desarrollado en hojas de cálculo de Microsoft Excel 2000 para facilitar la clasificación de los tipos climáticos. Se elaboraron los diagramas ombrotérmicos correspondientes de acuerdo a los métodos descritos por García et al. (1983) y posteriormente se abordó el cálculo de gradientes térmicos entre las estaciones disponibles con el método empleado por García y Sánchez-Santillán (1996) para efectuar el análisis climático de la Reserva de la Biosfera “El Cielo”, en Tamaulipas. Los gradientes son necesarios para la elaboración del modelo climático planteado. Un gradiente térmico se define como la relación de cambio en la temperatura en función al cambio altitudinal. Los gradientes se calculan en línea recta por pares de estaciones de acuerdo a su localización geográfica y a la disminución de la temperatura por cada 100 m de altitud (García y Sánchez-Santillán, 1996). Se determinaron todos los gradientes posibles, eliminando posteriormente aquellos que implicaban estaciones con menos de 30 años de información contrastable. Después se eliminaron los gradientes resultantes de estaciones que no divergían considerablemente en altitud y aquellos que presentaron datos extremos notables. De esta manera se llegó a tener 23 gradientes tentativos para las nueve estaciones involucradas (Figura iii del anexo), algunos de cuyos trazos se empalman. Se obtuvieron promedios de los gradientes de cada estación meteorológica dejando fuera aquellos cuya dirección los asociaba con estaciones muy alejadas del área de estudio (Tabla 2). Paralelamente, con base en la configuración topográfica de la región, y en la dirección e intensidad relativa de los vientos predominantes (mapas del Instituto de Geografía, UNAM, 1989a, 1989b; y datos de globos sonda del SMN, 2000-2002) se efectuó una caracterización general de los efectos climáticos para la zona de estudio que sirvió para la selección de los gradientes promedio aplicables a las localidades. Dichos gradientes y las diferencias altitudinales entre las localidades y las estaciones meteorológicas permitieron estimar las normales de temperatura de las localidades, así como los eventos anómalos.

Tabla 2 – Gradientes térmicos regionales. Se muestran únicamente los gradientes seleccionados para la estimación climática de las localidades del cuadro de estudio.

Estación	Camacho, Mazapil	Cedros, Mazapil	Coapas, Mazapil	Concepción de la Norma	Concepción del Oro	Mazapil, Mazapil	San Rafael, Mazapil
Altitud (msnm)	1665	1820	2050	2000	2070	2250	1706
tmax	0.57	1.10	0.55	0.82	0.75	0.71	0.45
tmax ext	0.66	1.11	0.49	0.94	0.93	0.69	0.47
tmin	0.28	0.43	0.41	0.23	0.39	0.48	0.24
tmin ext	0.25	0.44	0.34	0.25	0.35	0.48	0.32
tmedia	0.41	0.73	0.43	0.52	0.44	0.48	0.28

El procedimiento de estimación de temperaturas se repitió para las temperaturas mínimas, máximas y extremas, empleando los gradientes correspondientes. Dado que la precipitación está determinada por el gradiente térmico, la elevación y los efectos de los vientos, y como los niveles de precipitación están bien establecidos para las estaciones, fue posible aplicar el índice P/T en la forma siguiente (García y Sánchez-Santillán, 1996) para estimar la precipitación anual de las localidades:

$$P' = (P / T') * T \tag{3}$$

- en donde:
- P' = Precipitación calculada en la localidad
 - P = Precipitación Normal en la estación meteorológica
 - T' = Temperatura media en la localidad
 - T = Temp. media Normal en la estación meteorológica
 - (P / T') = Índice o coeficiente de acuerdo al sist. modificado

La construcción de este modelo climático detallado para el área de estudio permitió elaborar el mapa climático de la Figura 3 (Sección 2.3), y abordar adecuadamente la evaluación del grado de especialización climática que se denotó anteriormente, así como la búsqueda de relaciones entre los patrones de distribución espacial de las especies de Cactaceae y los factores ambientales preponderantes. Las matrices ambientales obtenidas se presentan en las Tablas **i**, **iii** y **xii** del anexo.

Análisis de correlación de factores ambientales

Se aplicó la técnica estadística de Análisis de Componentes Principales (ACP) para destacar las variables sobresalientes en la probable determinación de los patrones espaciales de Cactaceae en el área de estudio. Dicha técnica resulta de gran utilidad para separar subconjuntos de variables, de entre un conjunto más complejo, para poder elucidar el comportamiento de un fenómeno (Ruedas, 2003). El ACP consiste en el eigenanálisis de una matriz de covarianza o correlación, calculada a partir de los valores originales de las variables ambientales consideradas.

Para construir la matriz de correlación, las variables se estandarizan cuando se encuentran en diferentes escalas o corresponden a diversos órdenes de magnitud (Zavala-Hurtado 1986, Jonson 2000, McGarigal et al. 2000). El ACP permite contrastar múltiples factores a través de la evaluación de su contribución a la varianza total (A. Ezquivel, com. pers.) por lo que resulta interesante su aplicación a las interrogantes planteadas en este trabajo.

Los análisis se realizaron con el software Pc Ord y con el paquete Statistica 6.0, y comprendieron una evaluación general en la que la base analizada incluyó la totalidad de la información ambiental y biogeográfica generada, así como una evaluación general depurada, en la cual se retiraron variables ambientales que mostraron un comportamiento muy similar a otras variables. Posteriormente se efectuaron varios análisis en los cuales se seleccionaron porciones de información en forma particular. Se corrieron análisis independientes para establecer relaciones entre los patrones espaciales de Cactaceae y los factores climáticos, los factores edáficos, los tipos de vegetación, la fisiografía y los eventos climáticos anómalos. Así mismo se corrieron análisis selectivos para las especies que mostraron especialización edáfica, bajas frecuencias relativas y elevada escasez relativa. Se llevaron a cabo regresiones lineales empleando las tendencias mostradas por los ACP y para intentar establecer la correlación entre algunos pares usualmente vinculados de variables climáticas preponderantes y entre dichas variables y los patrones espaciales de las cactáceas.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Diversidad de Cactaceae en la región norte de Zacatecas y en el área de estudio

En el cuadro de estudio se encontraron 45 especies de cactáceas, entre las que se incluyen dos híbridos, uno de ellos (*Opuntia xcarstenii*) descrito en fecha reciente (Puente y Hamann, 2005) y otro (*Cylindropuntia* aff. *davisii*) por revisar en estudios futuros. El listado de las especies encontradas se muestra en la Tabla **iv** del anexo, en la que también se incluye su presencia en el registro de cactáceas. En dicha Tabla se pueden apreciar los nuevos registros a nivel estatal para Zacatecas y Coahuila, así como a nivel del área comprendida dentro de la porción del cuadro respectiva a cada estado. Se presentan así mismo los nuevos registros para ambos estados. La presencia de nuevos registros también se cotejó con el Catálogo de Cactáceas Mexicanas (Guzmán et al., 2003).

El cuadro geográfico comprendió un total de 24 nuevos registros del grupo, que corresponde a cerca del 53.33 % de la riqueza total encontrada. Se obtuvieron 32 nuevos registros (71.11 %) para la porción del cuadro en el estado de Coahuila y 23 nuevos registros (51.11 %) para aquella en el estado de Zacatecas, en donde ya se habían realizado algunas colectas. Así mismo, se efectuaron siete nuevos registros (15.55 %) para el estado de Zacatecas y dos nuevos registros (4.44 %) para el estado de Coahuila. Las frecuencias relativas de las especies presentes en el área de estudio pueden apreciarse en la Figura 6.

4.1.1 Diversidad e incidencia de endemismos

La porción final de la Tabla **iv** muestra la incidencia de endemismos a diferentes niveles, se proporcionan entre paréntesis los porcentajes con respecto al total de especies de Cactaceae encontrados en el área. Se presentan 24 especies (53.33 %) endémicas a la subregión principal del Desierto Chihuahuense y cinco especies (11.11 %) endémicas a las subregiones principal y meridional combinadas. Un total de 16 especies (35.55 %) no son endémicas de la región. Los endemismos de Cactaceae para el Desierto Chihuahuense suman un total de 29 especies, que corresponden al 64.44 % del total encontrado en el área, una cifra bastante notable. La presencia de endemismos decrece notablemente al considerar la distribución de las especies a nivel estatal, puesto que existen tan sólo dos endemismos (4.44 %) para el estado de Zacatecas. No se confirma ninguno a nivel del estado de Coahuila, a pesar de que es probable que *Cylindropuntia* aff. *davisii*, encontrada en un sólo sitio, pueda ser una microendémica de distribución disyunta no registrada con anterioridad en México (*C. davisii* es una microendémica conocida para Nuevo México y Texas, EUA) o inclusive un nuevo híbrido. Para fines del presente estudio se le consideró endémica de la subregión principal del Desierto Chihuahuense. *Opuntia xcarstenii* Puente & Hamann puede ser considerada microendémica de Zacatecas y Coahuila, mientras que *Escobaria lloydii* Britton & Rose y *Echinocereus palmeri* ssp. *mazapil* (Britton & Rose) H.M. Hern. & C. Gómez-Hinost., (éste último a nivel de subespecie), resultan microendémicas de Zacatecas.

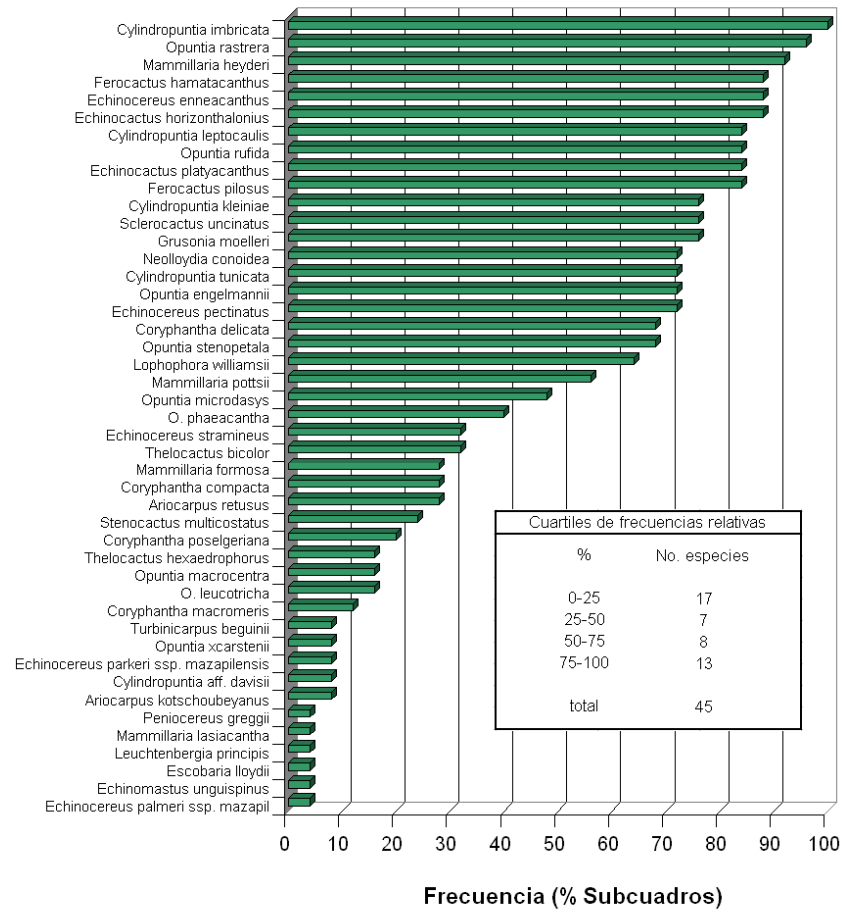
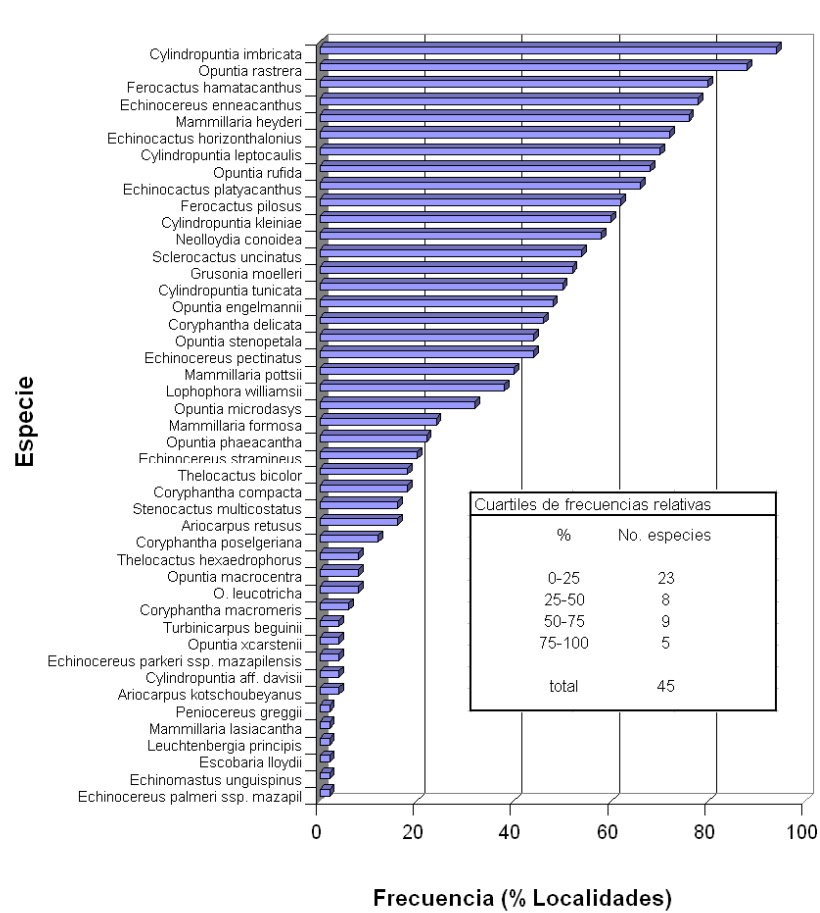


Figura 6 – Frecuencias relativas de las especies de Cactaceae por localidades (izquierda) y por subcuadros (derecha).

Una especie rara registrada previamente como microendémica para el área de estudio, *Opuntia chaffeyi* Britton & Rose fue redescubierta por Foster y Glass en 1970 cerca de la localidad tipo (Parfitt, 1985) y observada por última vez en el área por Gómez-Hinostrosa en 2000. Los muestreos prospectivos efectuados no permitieron hallar espécimen alguno de esta especie. Dado que se buscó en numerosas áreas de configuración similar a la localidad tipo, en reiteradas ocasiones y en diversas estaciones del año, la especie puede estar casi extinta debido al desarrollo del pastoreo. La configuración ambiental de la localidad tipo resulta especialmente idónea para la cría del ganado bovino y caprino, por lo que se somete a intensas perturbaciones esporádicas a través de la quema y el aclareo. Tanto el subcuadro en donde se encuentra dicha localidad, como el adyacente al sur del mismo, presentan amplios problemas de sobrepastoreo y la riqueza está disminuida. En virtud de lo anterior se optó por no incluirla en las evaluaciones objeto de la presente investigación, aunque se sugiere realizar un esfuerzo ulterior para asegurar el conocimiento en torno al estatus de dicha especie y no descartar la posibilidad de hallarla o bien de efectuar una reintroducción controlada. La especie fue encontrada en 2001 (Hernández H.M.) en otra localidad algunas decenas de kilómetros al oeste del cuadro de estudio, por lo que aún pudiera subsistir una población nativa.

4.1.2 Relevancia de la diversidad de cactáceas en el área de estudio

Los niveles de diversidad y endemismo del grupo son considerables, aunque resultan evidentemente menores a los observados en El Huizache, S.L.P. (Hernández et al., 2001; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2004; Hernández et al., 2004), en donde se alcanza una riqueza de 75 especies, de las cuales el 63% son endémicas (Tabla 3). Otras áreas con mayor diversidad de cactáceas son: El Cielo, Tamps., Sierra La Paila, Coah., Cuatro Ciénegas, Coah., Xichú, Gto., así como Mier y Noriega, N.L., S.L.P. y Tamps. (Tabla 3). La región nororiental del estado de Zacatecas, en conjunto con el extremo sudoriental del estado de Coahuila, muestran una riqueza considerable de especies de la familia Cactaceae, comparable - en relación con el área implicada - a los niveles de diversidad y endemismo observado en otras importantes regiones, entre las que cabe destacar: Tehuacán-Cuicatlán, Pue. y Oax., Peñamiller, Qro., Tehuantepec, Oax. y Dr. Arroyo, N.L.

Tabla 3 - Diversidad de Cactaceae en diferentes regiones

Región	Riqueza	Área aprox. (km ²)	No. especies amenazadas	Porcentaje amenazado	Densidad*	Fuente:
El Cielo, Tamps.	44	1445	11	25.00	30.45	(Martínez et al., 1996)
Huizache, S.L.P.	75	2855	23	30.67	26.27	(Hernández et al., 2001)
Sierra La Paila, Coah.	44	1700	9	20.45	25.88	(Villareal, 1994)
Cuatro Ciénegas, Coah.	48	2000	10	20.83	24.00	(Pinkava, 1984)
Xichú, Gto.	56	2879	12	21.43	19.45	(Bárcenas, 1999)
Mier y Noriega, N.L., S.L.P. y Tamps.	54	2845	19	35.19	18.98	(Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000)
Mapimí, Dgo.	30	1720	4	13.33	17.44	(Ruiz de Esparza, 1988; Cornet, 1985)
Mazapil, Zac.	45	2804	11	24.44	16.05	(Este Trabajo)
Peñamiller, Qro.	39	2879	5	12.82	13.54	(Bárcenas)
San Luis de la Paz, Gto.	33	2879	3	9.09	11.46	(Bárcenas, 1999)
San Miguel allende, Gto.	31	2887	6	19.35	10.74	(Bárcenas, 1999)
Dr. Arroyo, N.L.	43	5106	11	25.58	8.33	(Hernández E.M., 1981)
Tehuacán, Pue.	76	10000	14	18.42	7.60	(Dávila et al., 1997)
Tehuantepec, Oax.	39	6600	4	10.26	5.91	(Torres et al., 1997)
El Vizcaíno, B.C.S.	33	25400	4	12.12	1.29	(León et al., 1995)
Cuenca del Balsas, Mich. y Gro.	25	23490	3	12.00	1.06	(Castillo et al., 1983)
Valles Calchaquíes, Salta, Argentina	48	15000	3	6.25	3.20	(Saravia, 2006)
Sumatorias / Promedios	-	112489	-	19.44	14.21	

* Densidad de especies por cada 1,000 km²

En la Tabla 3 y en la Figura 7 se incluyen otras regiones que presentan una menor riqueza de especies y en algunos casos comprenden áreas mucho más extensas, pero que tienen también una gran relevancia. Se incluye también, en forma ilustrativa, un estudio efectuado en los Valles Calchaquíes, Salta, Argentina (Saravia, 2006), dadas las convergencias de método con respecto a la presente investigación. Dicha región, que posee una notable diversidad de Cactaceae, muestra patrones distintos a los observados en México. En especial cabe resaltar la influencia de cordilleras muy elevadas, así como una menor diversidad por unidad de área en relación con las áreas de gran diversidad en el Desierto Chihuahuense.

4.1.3 Observaciones en torno a la heterogeneidad en la riqueza

Se valoró la variación en la diversidad alfa (riqueza de especies) existente entre los subcuadros del área de estudio y se comparó con los patrones observados en El Huizache, y Mier y Noriega, estudios de características similares. Las desviaciones estándar en la riqueza de los subcuadros sirvieron como base para efectuar dicha comparación. El Huizache presenta la mayor variación general, con una desviación estándar de 5.7 (Referir a Tabla vi).

La región de Mazapil y áreas adyacentes muestra una variación general equivalente al 66.37% de la observada en El Huizache y al 100.51% de la presente en Mier y Noriega. La variación latitudinal de la riqueza en los subcuadros representa 32.27% de la observada en El Huizache, mientras que la variación longitudinal alcanza el 59.23% con respecto al mismo. Aunque la variación general es ligeramente mayor en Mazapil con respecto a Mier y Noriega, las variaciones latitudinal y longitudinal, al ser analizadas de manera particular, resultan mayores en Mier y Noriega. La variación espacial en la riqueza de especies, aunque notable, resulta notablemente menos heterogénea a la presente en El Huizache y Mier y Noriega. Las matrices de riqueza y la valoración de las desviaciones estándar para contrastar la variación referida en los estudios mencionados se pueden consultar en el anexo (Tabla vi).

4.2 Patrones espaciales de distribución de Cactaceae en el área de estudio

El área muestreada reveló una notable presencia de cactáceas, inclusive en sitios considerablemente elevados. El patrón de distribución general resultó más homogéneo de lo esperado en función de la relativamente alta heterogeneidad ambiental y contrasta con la mayor variación en la riqueza de especies observada en el Huizache (Hernández et al., 2001), al menos de manera general (Véase la Sección 4.1.3). Este patrón puede estar relacionado con las características de las especies presentes y en especial con el hecho de que la mayor parte de ellas (alrededor del 75% del total) parecen tener una especialización edáfica y climática limitada, es decir, se presentan numerosas generalistas. Algunas, no obstante, muestran un patrón muy distinto que se detallará más adelante y que refleja cierto grado de especialización (alrededor del 25% del total). Se sugiere la existencia de cierto nivel de heterogeneidad taxonómica que pudiera contrastarse en un futuro a nivel de la diversidad beta con cuadros geográficos similares y que refiere un patrón intermitente de aparición las especies equiparable al observado a mayor escala para el conjunto del Chihuahuense (Hernández et al., 2004; Goettsch y Hernández, 2005).

La Figura 8 muestra la distribución de la riqueza a nivel de localidades y subcuadros, mientras que en la Tabla iv del anexo y en la Figura 9 se puede apreciar el patrón espacial de la riqueza para el área de estudio, el cual resulta de su evaluación a nivel de subcuadros. El subcuadro 5 constituye el área de mayor riqueza, aunque sólo por una especie adicional en contraste con otras cinco áreas de elevada riqueza: los subcuadros 8, 14, 15, 22 y 23. Las áreas de mayor riqueza parecen corresponder, a grandes razgos, con áreas de configuración ambiental heterogénea, con un aislamiento notable y/o con un bajo nivel de transformación del medio por parte del ser humano. No se presenta una correlación significativa entre el patrón de riqueza en sí y los gradientes altitudinales, pluviométricos o térmicos medios.

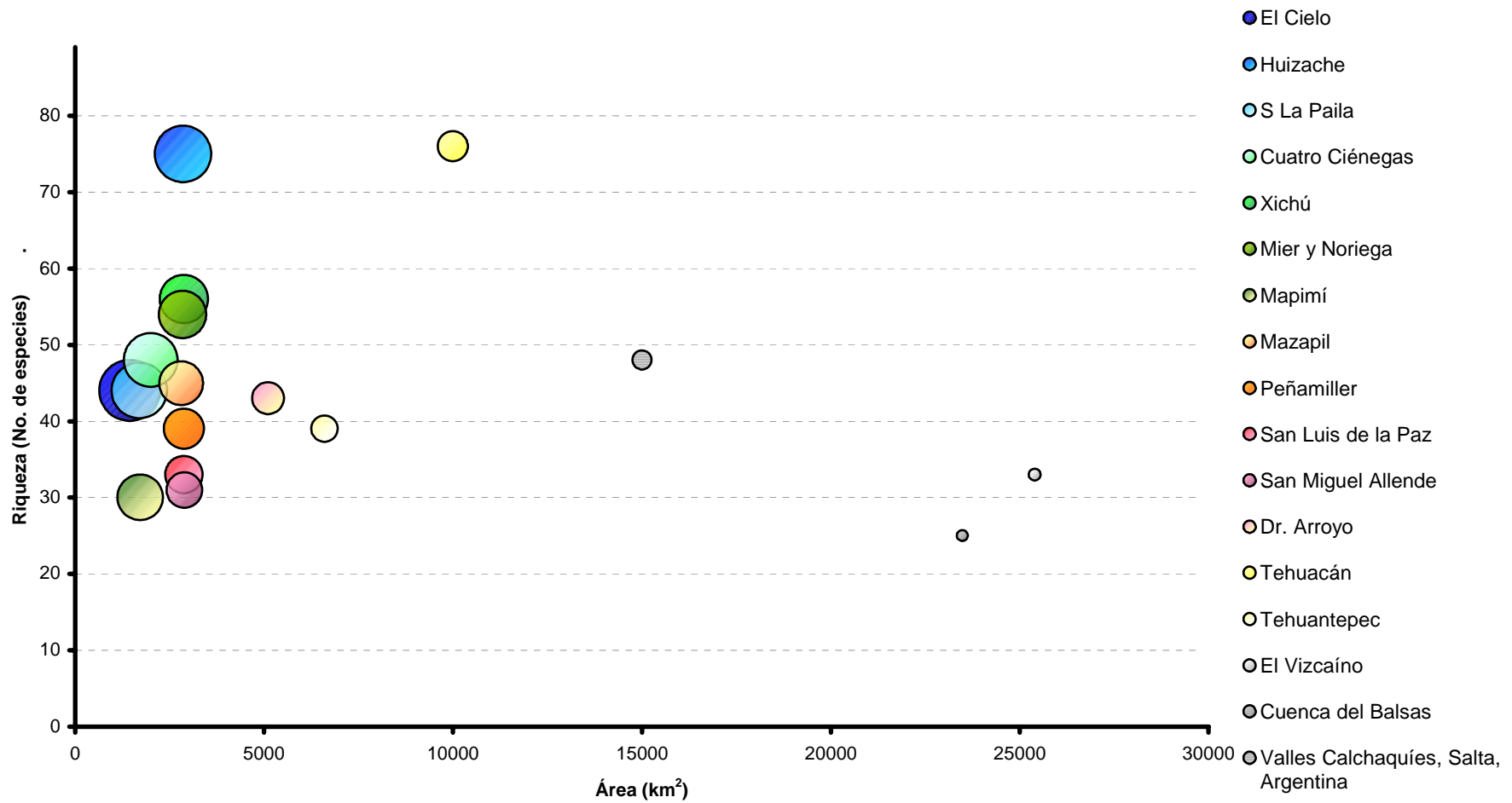


Figura 7 – Algunas regiones de elevada diversidad de Cactaceae. Las regiones han sido ordenadas en función de la densidad de especies por cada 1,000 km² (véase Tabla 3), la cual determina el tamaño de los grafos mostrados.

Existe, no obstante, cierta tendencia ($R^2= 0.004$ y 0.012 , respectivamente; $P>0.95$) de sentido inversamente proporcional entre la riqueza y los dos primeros factores (altitud y precipitación), y una muy ligera relación directa entre la riqueza y los gradientes térmicos medios ($R^2= 0.002$; $P>0.95$). Se tienen tendencias más marcadas, aunque no significativas, entre la riqueza y el número de días con niebla ($R^2= 0.069$; $P>0.95$), así como con la oscilación térmica media ($R^2= 0.042$; $P>0.95$). La situación encontrada puede explicarse, en parte, en relación con las escasas diferencias climáticas extremas existentes entre la mayor parte de los sitios, puesto que es probable que algunas especies hallan sido capaces de colonizar a lo largo de su historia un amplio territorio. Esto se nota especialmente en el caso de especies generalistas edáficas y que por otra parte no presentan demasiadas restricciones ambientales, entre las que cabe destacar a *Cylindropuntia imbricata*, *C. kleiniae*, *C. tunicata*, *Echinocactus horizonthalonius*, *E. platyacanthus*, *Echinocereus pectinatus*, *Mammillaria formosa*, *M. pottsii*, *Sclerocactus uncinatus*, *Opuntia rufida* y en menor grado a *Echinocereus enneacanthus*, *E. stramineus*, *Ferocactus hamatacanthus*, *F. pilosus*, *Grusonia moelleri*, *Mammillaria heyderi*, *Neolloydia conoidea*, *Opuntia microdasys*, *O. phaeacantha*, *O. rastrera*, *O. stenopetala* y *Stenocactus multicostatus*. Otro aspecto insoslayable, que parece incidir de manera notoria en la determinación de los patrones de distribución espacial, es la acción del ser humano en la transformación y utilización del medio

Es interesante resaltar la relativamente baja riqueza del subcuadro 17 (15 especies), que evidentemente contrasta con otros subcuadros de configuración ambiental semejante, como son los subcuadros 12 y 16, con 18 y 22 especies respectivamente, y en menor grado los subcuadros 1, 2, 4, 6, 10, 11 y 13, todos ellos con al menos 18 especies y en numerosos casos con más de 21 especies. El subcuadro 17 parece resentir fuertes efectos derivados del sobrepastoreo, el aclareo de la vegetación y el desarrollo de nopaleras beneficiadas por la actividad humana. Paralelamente, el subcuadro 20 presenta una riqueza de tan sólo 13 especies, que contrasta con áreas de configuración ambiental muy similar, como la comprendida en los subcuadros 25 y 19 (20 y 18 especies, respectivamente). La menor diversidad del subcuadro 13 quizá esté parcialmente vinculada con la presencia de varias elevaciones importantes dentro del área estudiada. No obstante, ambos cuadros citados con anterioridad presentan elevaciones comparables y en el caso del subcuadro 25, aún mayores. De hecho, la topografía de los subcuadros 20 y 25 es muy semejante, por lo que los principales factores que se consideran responsables de los patrones actuales son: la mayor precipitación atribuible al subcuadro 20 (alrededor del 25 % del subcuadro 25 está comprendido en un tipo de clima $BS_1kw(e)$), mientras que menos del 3 % del subcuadro 20 lo está), y el desarrollo de las actividades humanas. Es muy probable que el subcuadro 20 presente una menor riqueza en función de las modificaciones ambientales provocadas por la minería colonial y continuadas en menor grado hasta el presente.

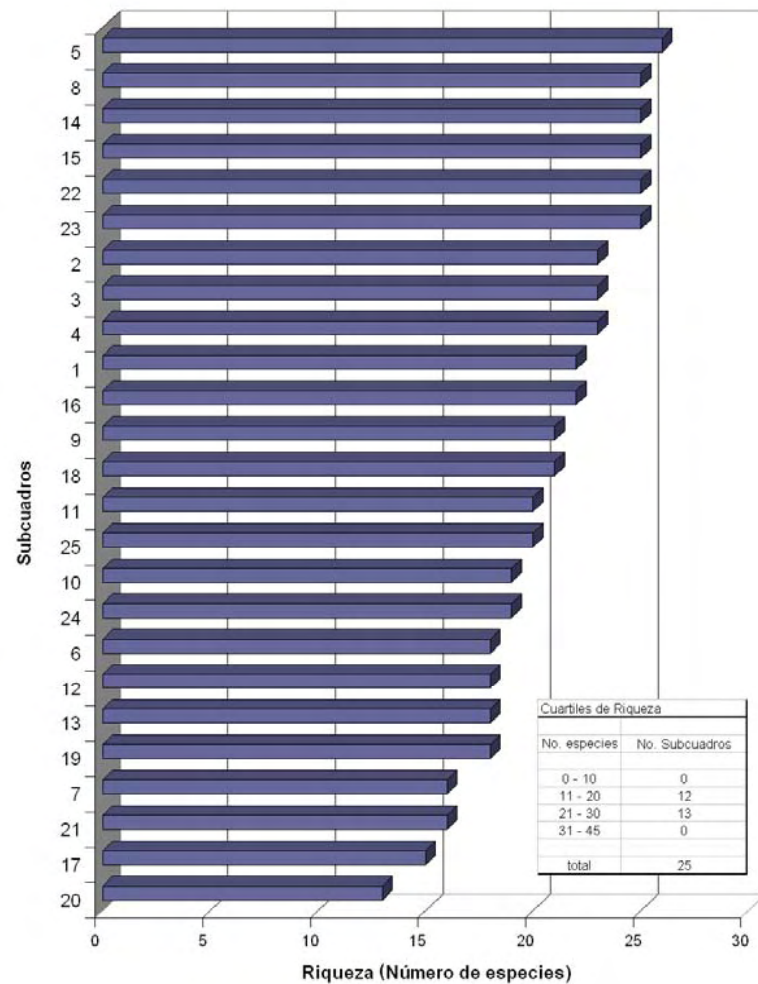
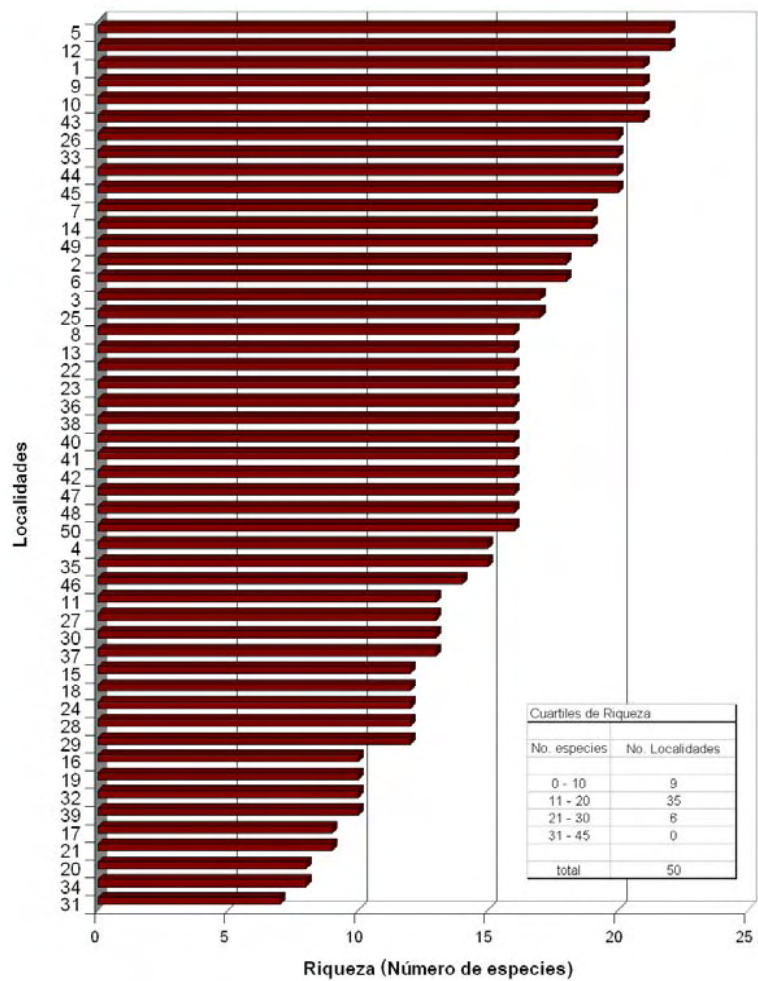


Figura 8 – Riqueza de Cactaceae para las localidades (izquierda) y los subcuadros (derecha).

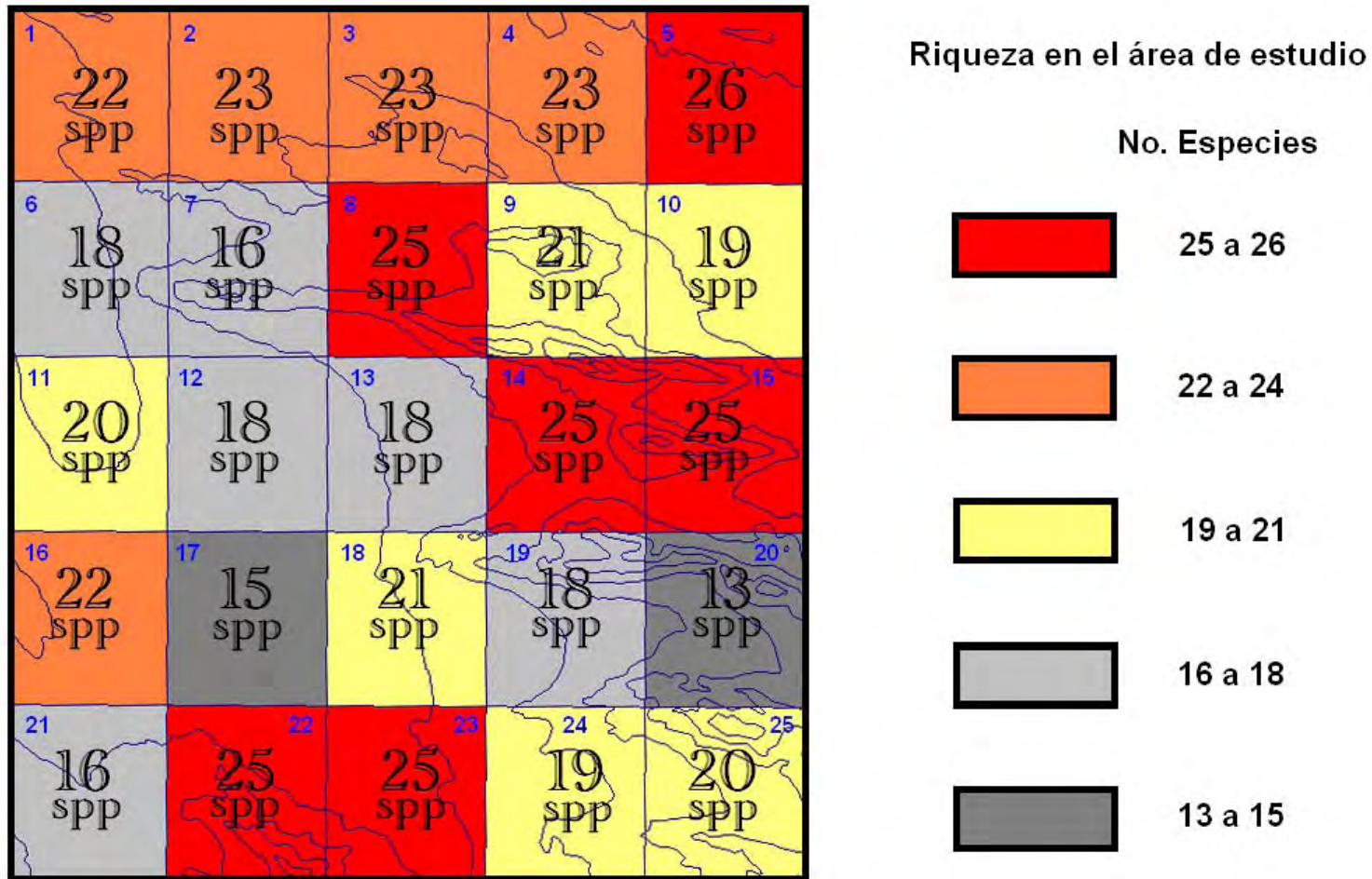


Figura 9 - Mapa de distribución de la riqueza de Cactaceae en el área de estudio. Se indica la riqueza al centro de los subcuadros y la numeración de los mismos en estilo reducido de color azul.

El desarrollo minero está bien documentado, la región es tan rica que incluso se planean nuevas explotaciones a cielo abierto (Western Silver Corporation, 2004). No es tanto el efecto de las explotaciones en sí, que en el caso de ser a cielo abierto pueden ser muy peligrosas para las especies más raras, sino más bien la larga historia de explotación de la región. El uso de los recursos minerales se inició a mediados del siglo XVI, aunque el auge ocurrió en los siglos siguientes (Municipios, 1989). Durante el periodo colonial el desarrollo de la minería de perforación fue particularmente intenso en las serranías en torno a Mazapil y Concepción del Oro. Los poblados crecieron, se desarrollaron hatos de ganado y especialmente – como requerimiento indispensable de la actividad minera colonial – se talaron extensiones considerables de bosques y se expuso al suelo a un efecto erosivo exacerbado que continúa hasta la fecha en algunos lugares. Es pues pertinente observar que las áreas de colecta más interesantes en este tipo de ambientes prácticamente siempre corresponden a las porciones más alejadas, menos deforestadas y con menor grado de erosión y signos de pastoreo. La necesidad de un conocimiento y planificación más detallados en torno a las actividades de pastoreo y uso tradicional de los recursos biológicos resulta clara, en especial en aquellos sitios de topografía más accidentada, que corresponde a los suelos en mayor riesgo y con frecuencia a áreas de interés, si no por su riqueza específica, sí por la composición particular de la misma.

4.3 Evaluación de la rareza relativa

Los resultados de las evaluaciones en torno a la rareza se condensan en la Tabla 4. En la misma se aprecian los componentes o categorías empleados para clasificar la rareza según los criterios de Rabinowitz (1981), una transformación de la clasificación de Rabinowitz para fines comparativos, los cinco componentes o categorías de información disponibles para la determinación de la rareza media propuesta y la correlación existente entre esta última y la clasificación de Rabinowitz (transformada).

La rareza media está altamente correlacionada con la clasificación de la rareza de Rabinowitz (Tabla 4), aunque ésta última presenta un menor contenido de información y genera un patrón discontinuo un tanto inflexible. El 48.89 % de las especies encontradas son raras según los criterios de Rabinowitz (Véase Tabla 4), mientras que en el caso de la valoración de la rareza media, dicho porcentaje resulta algo menor (35.56 %). Todas las evaluaciones se expresan en una escala de 0 a 1, por lo que las evaluaciones porcentuales y categóricas fueron adecuadamente transformadas (Sección 3.3.1).

Tabla 4 – Evaluación relativa de las formas de rareza de las especies de Cactaceae en el área de estudio. Existe una correlación muy alta entre las evaluaciones mostradas, cuyos resultados son consistentes. Quintiles de correlación muestral: MAC- muy alta (VR<0.2), AC- alta (0.2<VR<0.4), MC- media (0.4<VR<0.6), BC- baja (0.6<VR<0.8), CD- despreciable (VR>0.8). *La **variación real (VR)** es la medida de **desviación** de la igualdad potencial en la proporción Rabinowitz / rareza media (correlación total, representada por la unidad (1)) y puede multiplicarse por 100 si se quiere ver como un porcentaje de variación. Existe una elevada correlación directa entre las valoraciones de Rabinowitz y la rareza media ($R^2=0.805$).

Especie	Distribución Especificidad Abundancia Tipo de rareza Tipo de rareza					RG 1	RG 2	RH 1	RH 2	RD	rareza Media	proporción	Variación	Grado de correlación entre ambas
	Geográfica	de hábitat	local relativa	(Rabinowitz)	(Rabinowitz)	(Referir a Secciones 3.3.1 y 4.3)					(Hernández/ Brailovsky)	Rabinowitz' / rareza media	real entre ambas (VR)*	
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> (Lem.) K. Schum.	Restringida	Alta	Abundante	6	0.86	0.50	0.92	0.58	0.75	0.50	0.65	1.317	0.317	AC
<i>A. retusus</i> Scheidw.	Restringida	Baja	Escasa	5	0.71	0.50	0.72	0.50	0.25	0.86	0.57	1.263	0.263	AC
<i>Coryphantha compacta</i> (Engelm.) Britton & Rose	Restringida	Baja	Escasa	5	0.71	1.00	0.72	0.50	0.25	0.57	0.61	1.174	0.174	MAC
<i>C. delicata</i> L. Bremer	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.32	0.42	0.25	0.47	0.39	0.000	1.000	CD
<i>C. macromeris</i> (Engelm.) Lem.	Restringida	Alta	Abundante	6	0.86	0.50	0.92	0.67	0.75	0.50	0.67	1.284	0.284	AC
<i>C. poselgeriana</i> (A. Dietr.) Britton & Rose	Restringida	Alta	Abundante	6	0.86	0.50	0.84	0.42	0.75	0.50	0.60	1.425	0.425	MC
<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.000	1.000	CD
<i>C. kleiniae</i> (D.C.) F. M. Knuth	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.24	0.00	0.25	0.05	0.11	0.000	1.000	CD
<i>C. leptocaulis</i> (D.C.) F. M. Knuth	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.16	0.25	0.38	0.00	0.16	0.000	1.000	CD
<i>C. tunicata</i> (Lehm.) F.M. Knuth	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.28	0.17	0.00	0.28	0.14	0.000	1.000	CD
<i>C. aff. davisii</i> (Engelmann & J.M. Bigelow) F.M. Knuth	Restringida	Alta	Abundante	6	0.86	1.00	0.92	0.75	0.75	0.50	0.78	1.093	0.093	MAC
<i>Echinocactus horizontalis</i> Lem.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.12	0.00	0.25	0.18	0.11	0.000	1.000	CD
<i>E. platyacanthus</i> Link & Otto	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.16	0.00	0.13	0.24	0.10	0.000	1.000	CD
<i>Echinocereus enneacanthus</i> Engelm.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.12	0.00	0.25	0.23	0.22	0.000	1.000	CD
<i>E. palmeri</i> Britton & Rose ssp. <i>mazapil</i> H.M. Hern. & C. Gómez-Hinost.	Restringida	Alta	Escasa	7	1.00	1.00	0.96	0.83	0.88	1.00	0.93	1.071	0.071	MAC
<i>E. parkeri</i> N.P. Taylor ssp. <i>mazapilensis</i> Blum & Lange	Restringida	Alta	Escasa	7	1.00	1.00	0.96	0.75	0.88	1.00	0.92	1.091	0.091	MAC
<i>E. pectinatus</i> (Scheidw.) Engelm.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.28	0.17	0.13	0.28	0.17	0.000	1.000	CD
<i>E. stramineus</i> (Engelm.) F. Seitz	Restringida	Baja	Abundante	4	0.57	0.50	0.60	0.33	0.13	0.30	0.37	1.537	0.537	MC
<i>Echinomastus unguispinus</i> (Engelmann) Britton & Rose	Restringida	Alta	Escasa	7	1.00	1.00	0.96	0.75	0.88	1.00	0.92	1.091	0.091	MAC
<i>Escobaria lloydii</i> Britton & Rose	Restringida	Alta	Escasa	7	1.00	1.00	0.96	0.75	0.88	1.00	0.92	1.091	0.091	MAC
<i>Ferocactus hamatacanthus</i> (Muehlenpf.) Britton & Rose	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.12	0.00	0.13	0.36	0.22	0.000	1.000	CD
<i>F. pilosus</i> (Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.16	0.00	0.00	0.33	0.20	0.000	1.000	CD
<i>Grusonia moelleri</i> (A. Berger) E. F. Anderson	Restringida	Baja	Abundante	4	0.57	1.00	0.24	0.42	0.38	0.16	0.44	1.305	0.305	AC
<i>Leuchtenbergia principis</i> Hook.	Restringida	Alta	Escasa	7	1.00	0.50	0.96	0.92	0.88	1.00	0.85	1.176	0.176	MAC
<i>Lophophora williamsii</i> (Lem. ex Salm-Dyck) J.M. Coult.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.36	0.17	0.25	0.50	0.36	0.000	1.000	CD
<i>Mammillaria formosa</i> Galeotti ex Scheidw.	Restringida	Baja	Abundante	4	0.57	0.50	0.72	0.17	0.25	0.43	0.41	1.383	0.383	AC
<i>M. heyderi</i> Muehlenpf.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.08	0.00	0.13	0.35	0.11	0.000	1.000	CD
<i>M. lasiacantha</i> Engelm.	Restringida	Alta	Escasa	7	1.00	0.50	0.96	0.75	0.88	1.00	0.82	1.224	0.224	AC
<i>M. pottsii</i> Scheer ex Salm-Dyck	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.44	0.17	0.25	0.29	0.33	0.000	1.000	CD
<i>Neolloydia conoidea</i> (DC.) Britton & Rose	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.28	0.00	0.00	0.00	0.16	0.000	1.000	CD
<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.28	0.17	0.00	0.50	0.19	0.000	1.000	CD
<i>O. leucotricha</i> DC.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.00	0.84	0.42	0.50	0.50	0.45	0.000	1.000	CD
<i>O. macrocentra</i> Engelm.	Restringida	Alta	Abundante	6	0.86	0.50	0.84	0.58	0.63	0.50	0.61	1.406	0.406	MC
<i>O. microdasys</i> (Lehm.) Pfeiffer	Restringida	Baja	Escasa	5	0.71	0.50	0.52	0.17	0.13	0.58	0.38	1.885	0.885	CD
<i>O. phaeacantha</i> Engelm.	Amplia	Baja	Escasa	1	0.14	0.00	0.60	0.42	0.25	0.80	0.41	0.346	0.654	BC
<i>O. rastrera</i> F.A.C. Weber	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.04	0.00	0.00	0.04	0.12	0.000	1.000	CD
<i>O. rufida</i> Engelm.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.16	0.00	0.25	0.10	0.20	0.000	1.000	CD
<i>O. stenopetala</i> Engelm.	Amplia	Baja	Abundante	0	0.00	0.50	0.32	0.17	0.00	0.18	0.23	0.000	1.000	CD
<i>O. xcarstenii</i> Puente & Hamann	Restringida	Alta	Escasa	7	1.00	1.00	0.92	0.75	0.75	1.00	0.88	1.131	0.131	MAC
<i>Peniocereus greggii</i> (Engelm.) Britton & Rose	Amplia	Alta	Escasa	3	0.43	0.00	0.96	0.83	0.88	1.00	0.73	0.584	0.416	MC
<i>Sclerocactus uncinatus</i> (Galeotti) N.P. Taylor	Amplia	Baja	Escasa	1	0.14	0.00	0.24	0.00	0.25	0.68	0.23	0.608	0.392	AC
<i>Stenocactus multcostatus</i> (Hildm. ex K. Schum.) A. Berger	Restringida	Baja	Abundante	4	0.57	0.50	0.76	0.33	0.38	0.17	0.43	1.338	0.338	AC
<i>Thelocactus bicolor</i> (Galeotti ex Pfeiff.) Britton & Rose	Restringida	Alta	Abundante	6	0.86	0.50	0.68	0.42	0.63	0.25	0.49	1.734	0.734	BC
<i>T. hexaedrophorus</i> (Lem.) Britton & Rose	Restringida	Baja	Abundante	4	0.57	0.50	0.80	0.17	0.38	0.20	0.41	1.399	0.399	AC
<i>Turbinicarpus beguinii</i> (N.P. Taylor) Mosco & Zanovello	Restringida	Alta	Abundante	6	0.86	0.50	0.92	0.58	0.75	0.00	0.55	1.557	0.557	MC
Promedios:					0.42						0.43	0.957	0.043	MAC

Un total de 32 especies (71.11 % del total) fueron valoradas como raras a nivel de la incidencia y nivel de los endemismos (RG1). Dicha valoración puede tener algunas limitaciones en cuanto a interpretaciones biogeográficas se refiere, dado a que otorga peso a las especies por el hecho de ser endémicas de la región del Desierto Chihuahuense y/o del área estatal relevante, lo que no implica necesariamente una restricción mayor en el tamaño total del área de distribución real de las especies endémicas en contraste con algunas especies no endémicas. No obstante, la información es pertinente a nivel del área estudiada, como ocurre también con las frecuencias relativas, y puede servir para orientar la asignación de prioridades en el rubro de la conservación.

La amplitud geográfica relativa (RG2), así como el resto de las valoraciones realizadas, definen con seguridad el comportamiento de las especies en el cuadro de estudio pero no necesariamente así en cuanto a lo que ocurre en el área de distribución completa de las especies, por lo que es recomendable que los acercamientos futuros consideren las mejoras en la determinación del tamaño del área de distribución y el conocimiento integral en torno a cada taxón para la valoración holística del grado de rareza y de vulnerabilidad. El método empleado, no obstante, constituye un acercamiento ilustrativo al momento de destacar las tendencias que cabe esperar en la biología de las diversas especies estudiadas y en particular de aquellas que no cuentan con una distribución mucho más extensa y heterogénea. Un total de 24 especies (53.33 % del total) resultaron raras para la valoración de RG2.

Entre los patrones espaciales más interesantes desde el punto de vista de la evaluación de la rareza se encuentran las distribuciones de las especies con mayor grado de especialización edáfica (RH1) y con mayor grado de especialización climática (RH2). El grado de especialización edáfica (Figura 10) resulta especialmente notable para las siguientes especies: *Leuchtenbergia principis**, *Peniocereus greggii**, *Echinocereus palmeri* ssp. *mazapil**, *Opuntia xcarstenii*, *Mammillaria lasiacantha**, *Escobaria lloydii**, *Echinomastus unguispinus**, *Cylindropuntia* aff. *davisii*.* Otras especies con fuertes preferencias edáficas son: *Coryphantha macromeris*, *C. compacta*, *Turbinicarpus beguini**, *Opuntia macrocentra**, *Ariocarpus kotschoubeyanus** y *A. retusus*. Las especies acompañados de un asterisco (*) resultaron tener fuertes asociaciones con la edafología del medio según los análisis de factores en los que se abunda más adelante, lo que no descarta correlaciones más débiles para otros casos. Se tienen 15 especies (33.33 % del total) raras en relación con RH1.

El caso de *Coryphantha poselgeriana* es curioso, puesto que no alcanza a figurar entre las especies con mayor grado de especialización edáfica según el criterio establecido, aunque sí figura entre las especies con fuertes preferencias por el factor edáfico (Figura 17, preferencias por el tipo de suelo, Sección 4.5). Lo anterior puede estar ligado al hecho de que dicha especie también muestra fuertes influencias de las temperaturas medias y en menor grado, de las temperaturas máximas y el nivel de evaporación. Dichos factores, que no generan necesariamente una exclusividad climática por sí solos, pueden – en cambio – condicionar la presencia de la especie en las localidades en conjunto con los factores edáficos. *Coryphantha poselgeriana* quedó comprendida en el grupo de especies con mayor grado de especialización climática.

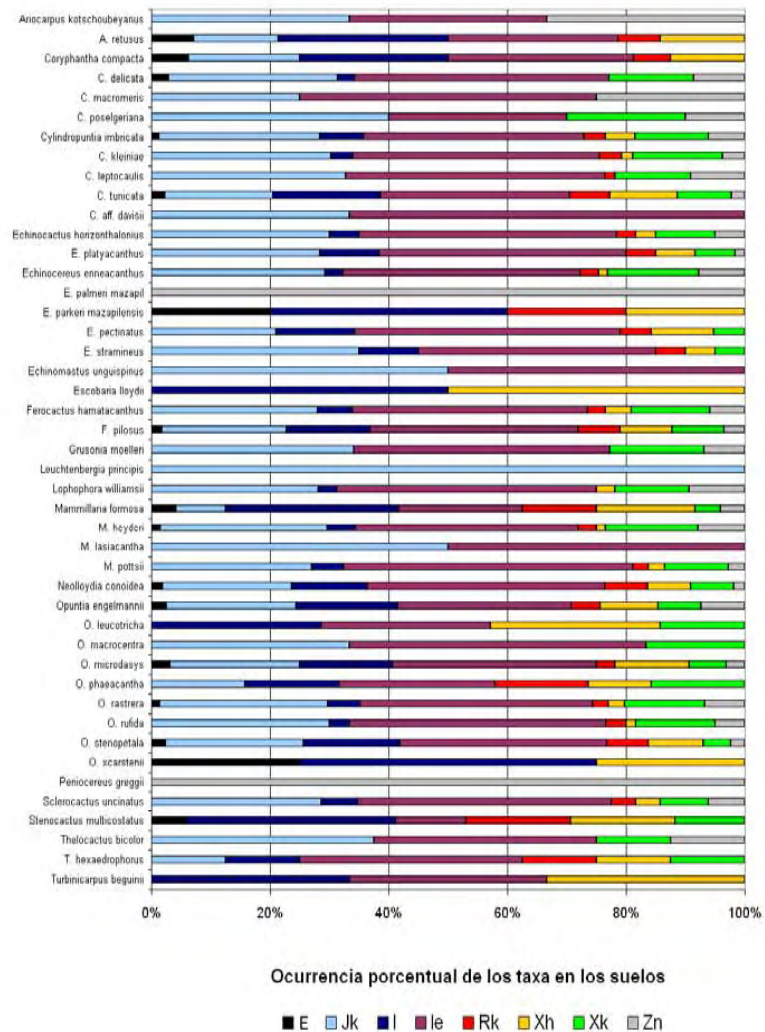
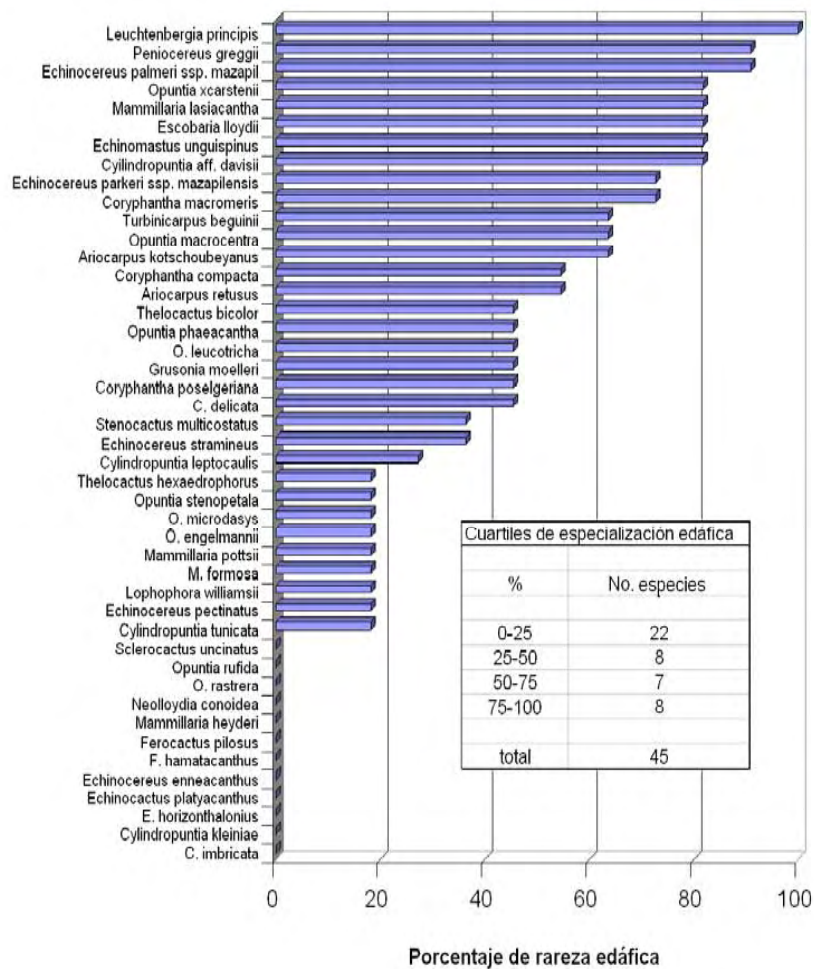


Figura 10 – Grado de especialización edáfica de las especies de Cactaceae por localidades (izquierda) y variedad de suelos en los que se presentan (derecha). Los tipos de suelos son: E, Rendzina; JK, fluvisol calcárico; I, litosol; le, litosol éutrico; Rk, regosol calcárico; Xh, xerosol háplico; Xk, xerosol cálcico; y Zn, solonchak háplico. (Se proporcionan detalles en la Tabla i del anexo e información adjunta).

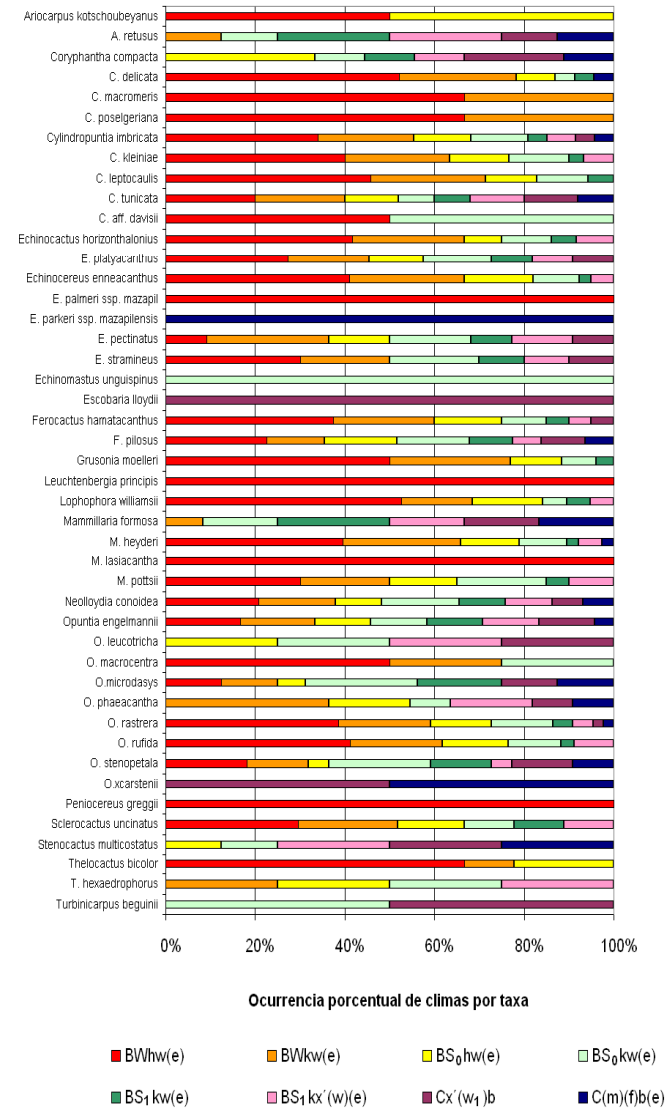
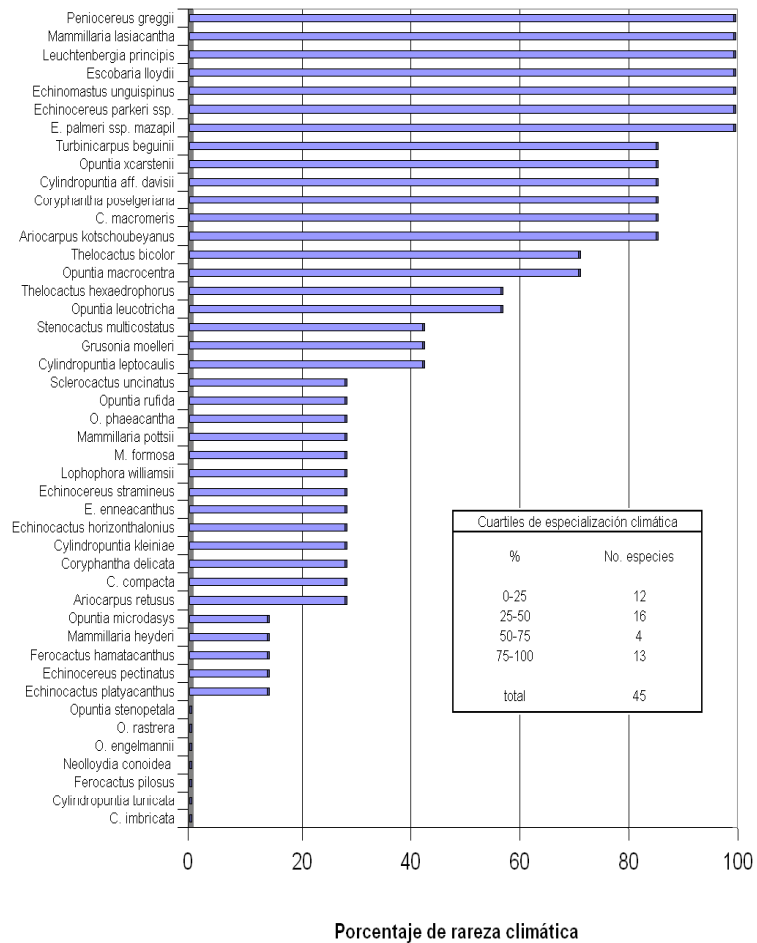


Figura 11 – Grado de especialización climática de los taxa de Cactaceae por localidades (izquierda) y variedad de climas en los que se presentan (derecha) en el área de estudio. Los tipos de climas se detallan en la Tabla 1 (Sección 2.3).

Las especies que presentaron el mayor grado de especialización climática (Figura 11) fueron las siguientes: *Peniocereus greggii*, *Mammillaria lasiacantha*, *Leuchtenbergia principis*, *Escobaria lloydii*, *Echinomastus unguispinus**, *Echinocereus palmeri* ssp. *mazapil*, *Coryphantha macromeris*, *Turbincarpus beguini**, *Opuntia xcarstenii*, *O. macrocentra*, *Cylindropuntia* aff. *davisii*, *Ariocarpus kotschoubeyanus* y *Thelocactus bicolor*. Las especies antes mencionadas, sólo en algunos casos corresponden con correlaciones con el tipo de clima (*), aunque en su mayoría presentan algún tipo de relación con uno o más componentes de estos tipos climáticos. Un total de 16 especies (35.56 % del total) se consideran raras en relación con la especificidad climática (RH2).

Es comprensible que el listado sea similar al correspondiente a las especies con mayor grado de especialización edáfica, sobre todo porque varias de las especies se presentan raramente en el área estudiada también a nivel de su amplitud geográfica relativa (RG2), lo que puede prestarse a una interpretación inadecuada en algunos casos. Dicho problema sólo puede solucionarse mediante el empleo de enfoques más finos y de índole muy específica, en los que se revise de manera exhaustiva la relación de las especies con el ambiente en toda su área de distribución. No obstante, resultan muy concretas las apreciaciones logradas a nivel del área de estudio y los patrones observados pueden servir de guía en la comprensión de los mismos en otras escalas. Las especies pueden devenir raras debido a los cambios en la configuración ambiental a través del tiempo, sean dichos cambios naturales o provocados, por lo que la comprensión de la especialización ambiental toma especial importancia en la actualidad, ante el gran influjo de la industria humana en todos los niveles de la biosfera.

El 46.67 % de las especies encontradas resultaron raras de acuerdo con la valoración de la rareza demográfica relativa (RD), definida en función de las observaciones de la escasez relativa (Tabla vii del anexo). Dicho acercamiento es de carácter general, aunque en modo alguno profundo y/o definitivo, en relación con el comportamiento de las poblaciones de las especies implicadas. Las observaciones de la escasez relativa son, pues, de utilidad en la generación un parámetro clasificatorio tentativo y tienen especial relevancia a nivel del cuadro geográfico estudiado.

4.3.1 Tipos de rareza según Rabinowitz y rareza media propuesta

Los criterios de Rabinowitz (1981) presentan la desventaja relativa de causar un decremento en el contenido de la información al momento de forzar la valoración de sus componentes dentro de categorías dicotómicas. En este sentido se plantea la utilidad potencial de la “rareza media” definida como el promedio de los cinco tipos de rareza evaluados en escala

de 0 a 1. La rareza media se ajusta a una función polinomial de tercer grado con gran precisión, mientras que la distribución de Rabinowitz se explica mejor mediante una ecuación lineal (véase la Figura 13). La transición en la clasificación de la rareza es mucho más abrupta en la valoración de Rabinowitz, en la cual 20 especies (44.44 % del total) no presentan ninguna forma de rareza. Con respecto a éstas últimas, la rareza media muestra valores relativamente bajos para 15 de ellas y valores medios para las cinco restantes (Tabla 4, Figuras 12 y 13). Como era de esperar, la valoración realizada mediante los criterios de Rabinowitz produce un patrón saltacional mucho más marcado, lo que destaca la pérdida de detalle referida. No obstante ambos acercamientos producen resultados altamente correlacionados para la mayor parte de los casos. La rareza media no subestima o sobreestima los potenciales componentes de rareza de las especies menos raras, por lo que la extensión del conjunto de especies raras dependerá del criterio utilizado.

En el caso del presente trabajo se fijó arbitrariamente la definición de especies más raras de acuerdo al criterio de la media unidad (0.5) citado anteriormente (Sección 3.3.1). Las especies destacadas como raras bajo dicho criterio corresponden en su totalidad a especies fijadas como raras mediante la clasificación de Rabinowitz (1981). Las siguientes especies raras según la clasificación de Rabinowitz quedan fuera de la selección planteada en función de la rareza media para el área de estudio: *Thelocactus bicolor*, *T. hexaedrophorus*, *Grusonia moelleri*, *Stenocactus multicostatus*, *Opuntia microdasys*, *O. phaeacantha*, *Mammillaria formosa*, *Echinocereus stramineus* y *Sclerocactus uncinatus*. En última instancia se debiera conservar toda especie y toda su diversidad genética, más cuanto esto resulta imposible, es menester definir criterios y efectuar selecciones informadas para acercarse a dichas metas. Debido a ésto, los objetivos de la conservación giran en torno a la optimización en la aplicación relevante de recursos limitados, de acuerdo a evaluaciones informadas en torno a la vulnerabilidad de los organismos.

La rareza frecuentemente se asocia con una mayor vulnerabilidad por numerosas razones y resulta especialmente idónea para definir la priorización de áreas para la conservación. La clasificación de Rabinowitz resulta un tanto inflexible en la valoración y posterior discernimiento de áreas de interés, por lo que resulta interesante la flexibilidad propuesta a través de la rareza media. Los criterios pueden establecerse en torno a diversos aspectos, más se tienen que fijar, en última instancia, en función de la disponibilidad de recursos. En el presente trabajo dichos criterios se establecieron particularmente en función de los patrones espaciales y la biología de las especies de Cactaceae con mayor grado de rareza. Es posible que esfuerzos futuros den lugar a programas de conservación para ésta u otras áreas importantes, programas con presupuestos finitos que pudieran hacer uso del acercamiento expuesto.

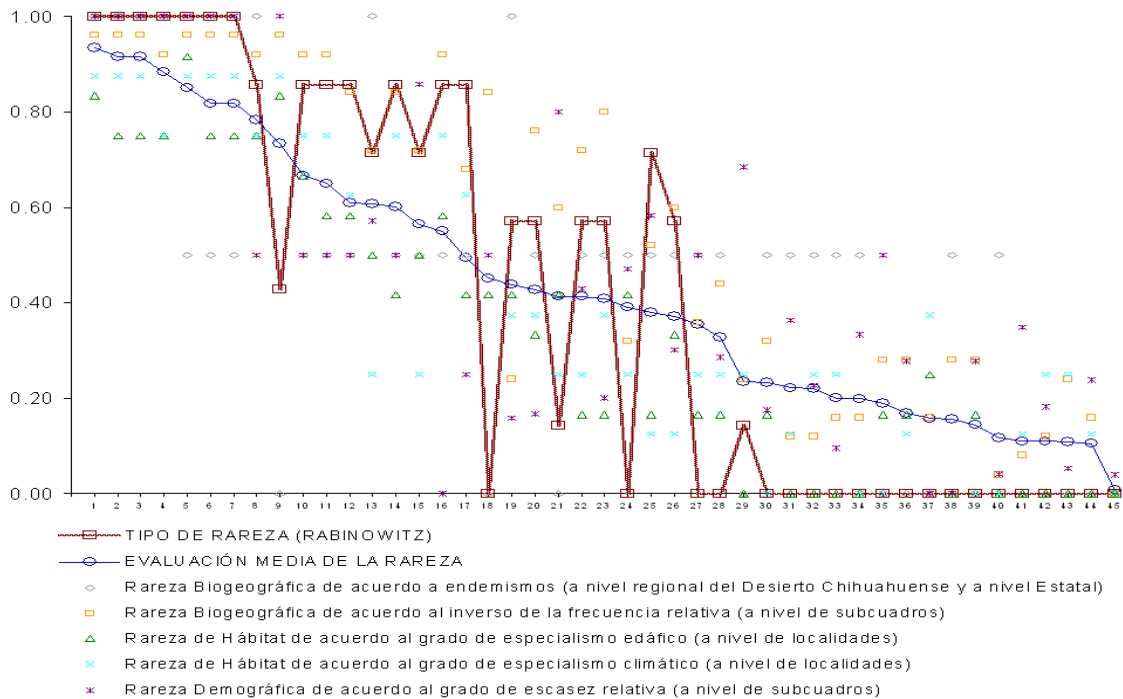


Figura 12 – Evaluación del grado de rareza de acuerdo a la clasificación de Rabinowitz (1981) y a la rareza media propuesta en este estudio. Se incluyen las distribuciones de los cinco elementos considerados. El eje de las ordenadas presenta una escala homogeneizada de 0 a 1, mientras que el eje de las abscisas representa los taxa ordenados en orden decreciente en función de la rareza media.

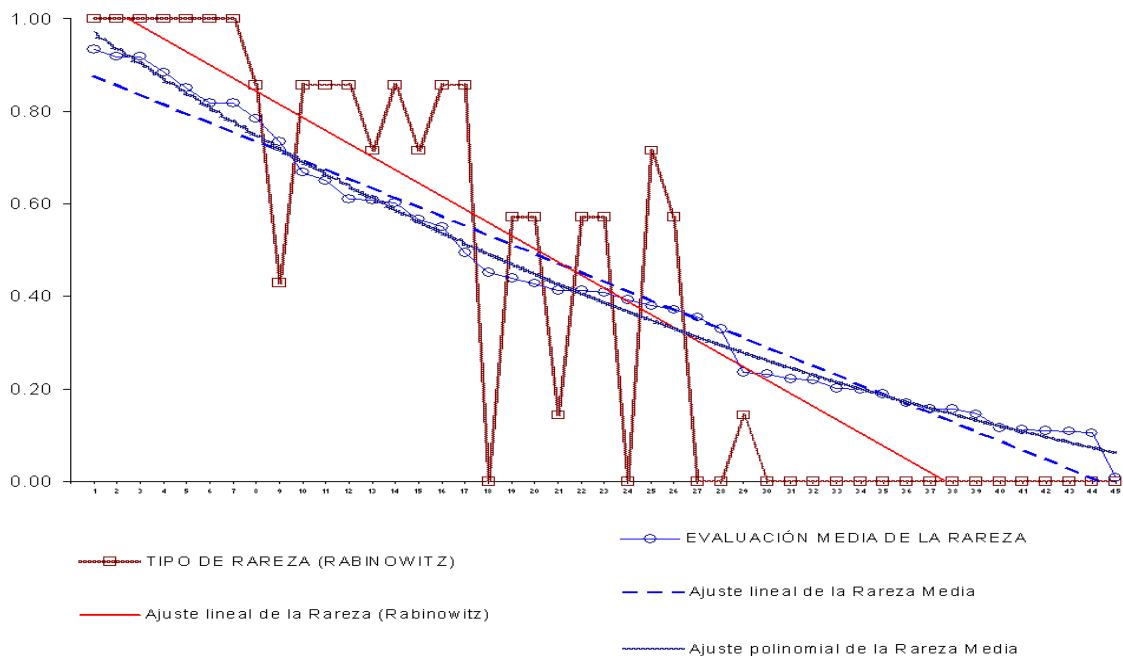


Figura 13 – Análisis comparativo de las evaluaciones mostradas en la figura 9. Se presentan las regresiones más explicativas. La distribución de Rabinowitz se explica mejor mediante la ecuación lineal: $y = -0.0284x + 1.0683$ con: $R^2 = 0.7881$, mientras que una ecuación polinómica es más precisa para el caso de la rareza media: $y = -2E-06x^3 + 0.0004x^2 - 0.0351x + 1.0042$ con: $R^2 = 0.9918$ (La ecuación lineal para la rareza media corresponde a: $y = -0.0202x + 0.8977$ con: $R^2 = 0.969$)

4.4 Definición de áreas prioritarias para la conservación

El análisis de complementariedad general permitió ubicar 8 subcuadros necesarios para la conservación de la totalidad de la diversidad de cactáceas en el área, que corresponden a una superficie aproximada de 895 km², casi un 32% de la superficie total (Tabla 5; Figura 14). Puede apreciarse un patrón heterogéneo en la distribución de los subcuadros prioritarios y en la configuración topográfica de los mismos (Figura 14). La riqueza en los subcuadros prioritarios varía entre 15 (Subcuadro 17) y 26 especies (Subcuadro 5). El área de primera prioridad (Subcuadro 5) es preponderantemente baja con extensos barriales y una serie de lomeríos que se elevan hacia el nororiente para formar la Sierra de Enfrente.

Tabla 5 – Definición de áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis de complementariedad general para las especies de Cactaceae presentes en el cuadro de estudio. Complemento (CO) = 45

Áreas prioritarias	A1	A2	A2	A3
Subcuadros que la constituyen	5	11,14,15		1,2,17,24
Riqueza	26	39	41	33
Porcentaje de complementariedad	57.78	33.33	91.11	8.89
Porcentaje de especies incluidas	57.78	86.67	91.11	73.33
Complemento residual (RC)	26	15	41	4

Los subcuadros que conforman al área de segunda prioridad (11,14 y 15) se encuentran limitados por dos sierras transversales. Los subcuadros 14 y 15, en particular, ocupan una porción de la Sierra de Zuloaga (al norte) y la Sierra del Mascarón (al sur), y comprenden principalmente valles de notoria elevación con una heterogeneidad ambiental considerable. Los subcuadros antes mencionados comprenden 6 de los 8 tipos climáticos encontrados y abarcan prácticamente todas las elevaciones por arriba de los 1700 msnm. El subcuadro 11 incluye algunas de las áreas más bajas y secas, con lo que completa la totalidad de la variación climática y se incluye al 91.11% de la diversidad del cuadro. El área de tercera prioridad, conformada por los subcuadros 1,2,17 y 24, resulta más heterogénea en cuanto a su configuración edáfica, aunque sólo presenta climas áridos y semiáridos.

Los resultados de los análisis de complementariedad desarrollados, delineados de acuerdo a la caracterización de los patrones espaciales de Cactaceae y a los resultados de las valoraciones en torno a la rareza fueron consistentes con la valoración de la rareza media (Tabla 6; Figura 15). Los subcuadros correspondientes al área de primera y segunda prioridad en el análisis de complementariedad general conforman el área de primera prioridad al considerar la rareza de las especies, mientras que aquellos que constituían el área de tercera prioridad conforman el área de segunda prioridad. Tan sólo el subcuadro 15 queda fuera de las áreas prioritarias (Figura 15).

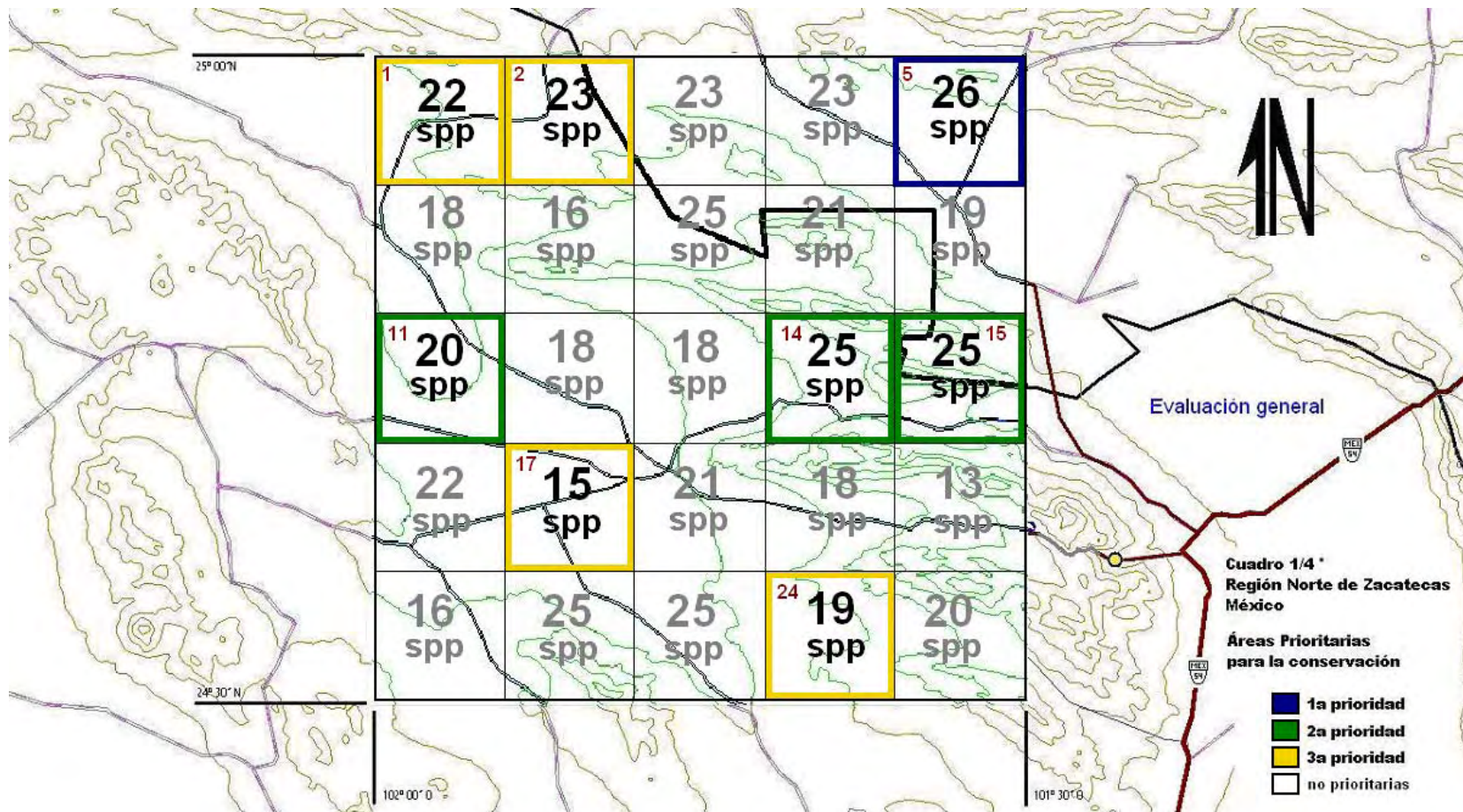


Figura 14 – Áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis general de complementariedad de las especies de Cactaceae presentes en el cuadro de estudio. CO = 45 (referir a la Tabla 5). Se muestra la riqueza por subcuadros.

Tabla 6 – Definición de áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis de complementariedad para las especies de Cactaceae que presentan mayor grado de rareza media. Complemento (CO) = 16

Áreas prioritarias	A1	A2	A1+A2
Subcuadros que la constituyen	5,11,14	1,2,17,24	
Riqueza	12	8	16
Porcentaje de complementariedad	75.00	25.00	100.00
Porcentaje de especies incluidas	75.00	50.00	100.00
Complemento residual (RC)	12	4	16

Se efectuaron análisis adicionales en los que la inclusión de las especies fue determinada por atributos independientes de su nivel de rareza relativa (Tabla 4, Sección 4.3). Resulta interesante destacar la similitud en la priorización de las áreas bajo los diferentes criterios de selección de acuerdo a la rareza. Los resultados de dichos análisis particulares (bajas frecuencias relativas, mayor grado de especialización edáfica y climática, y mayor grado de escasez local relativa) se incluyen en el anexo (Tablas **viii** a **xi** del anexo), mientras que un resumen de la redundancia observada en la asignación de prioridades se presenta en la Tabla 7. El subcuadro 14 se asigna cuatro veces como área de primera prioridad y una vez como área de segunda prioridad, por ejemplo. Otros subcuadros relevantes por su asignación repetida en diversos niveles de prioridad para la conservación son: 5, 11, 1, 17 y 24.

Tabla 7 – Redundancia total en la priorización de áreas para la conservación. Se muestra el número de veces en que los subcuadros forman parte de las áreas prioritarias bajo distintos acercamientos y se destacan los subcuadros más relevantes para cada nivel de prioridad.

ÁREAS DE PRIMERA PRIORIDAD																									
Subcuadros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Redundancia					3						3			4											
ÁREAS DE SEGUNDA PRIORIDAD																									
Subcuadros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Redundancia	2				1						3			1	1		1							1	
ÁREAS DE TERCERA PRIORIDAD																									
Subcuadros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Redundancia	4	3			2										1		4							3	
ÁREAS DE CUARTA PRIORIDAD																									
Subcuadros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Redundancia		2															1							1	

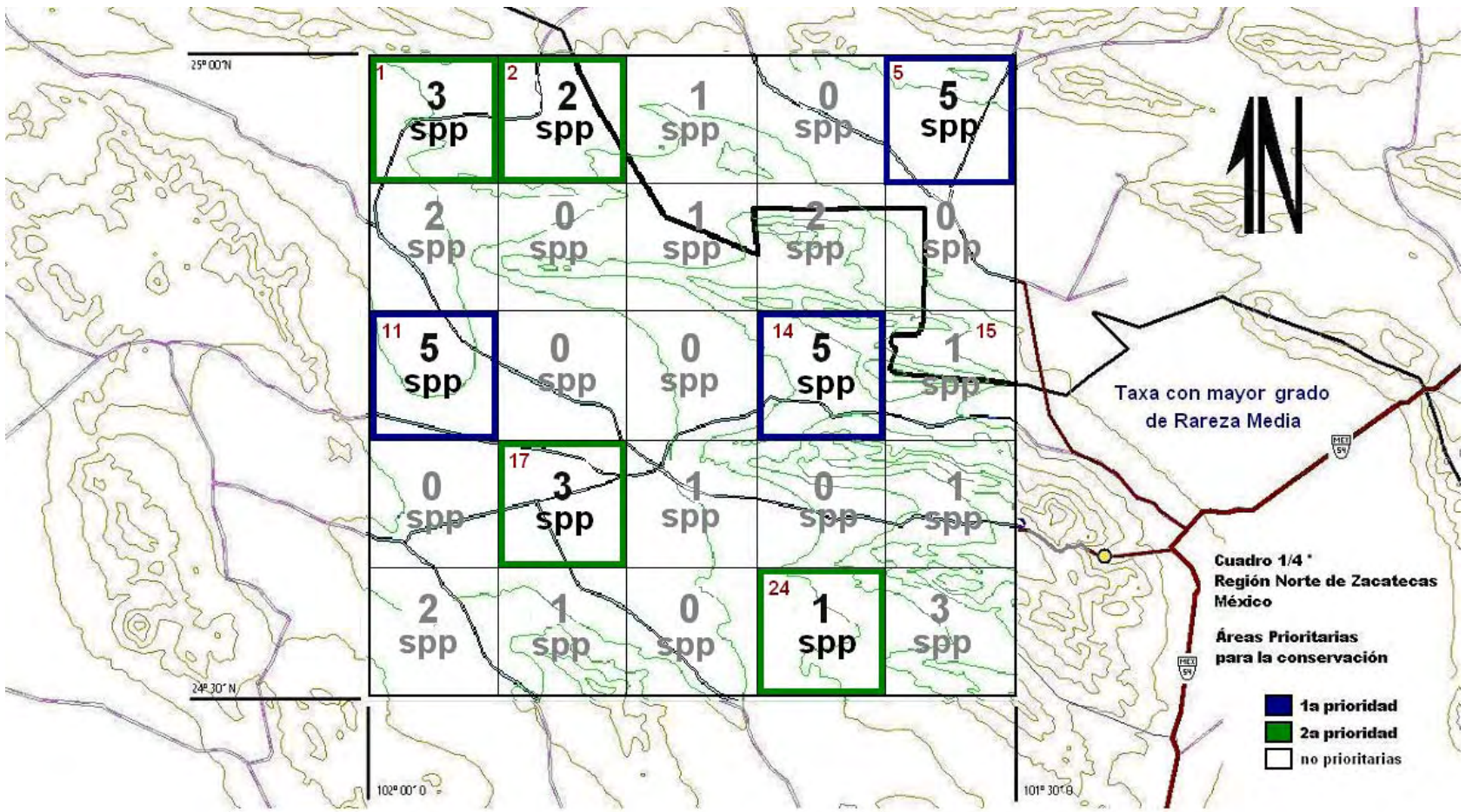


Figura 15 – Áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis de complementariedad de las especies de Cactaceae con mayor grado de rareza media. CO = 16 (referir a la Tabla 6). Se muestra el número de especies raras (RM≥0.5) por subcuadros.

4.4.1 Comentarios generales

La variación en la riqueza entre los subcuadros no es muy grande, como se ha mencionado con antelación. Es notable la presencia de cactáceas en sitios relativamente elevados, y aunque se podría pensar en un decremento en la diversidad con el incremento en la altitud, como se mencionó ya, tal decremento es casi inexistente (hasta que se sobrepasan los 2500 msnm, en forma aproximada, en donde comienza un descenso paulatino). Las áreas de prioridad subsecuente obtenidas no necesariamente corresponden a los subcuadros de mayor riqueza subsiguientes y de hecho en ocasiones subcuadros de elevada riqueza pueden quedar en áreas de menor prioridad. Es claro que la representatividad de especies en las áreas que se desean definir para intentar orientar las prioridades de conservación resulta de gran importancia y que el hecho de que se presente una elevada riqueza en un área en particular no necesariamente coincide con la representatividad de la misma en el cuadro completo, por lo que la idoneidad del análisis empleado salta a la vista. Los sitios mejor conservados están bien representados en la asignación de prioridades para la conservación. Algunos de ellos son relativamente inaccesibles y es posible que su lejanía de las brechas y caminos principales incida positivamente en una mejor conservación de los mismos, aunque se han observado evidencias de algún grado de pastoreo en casi todos ellos.

La asignación de prioridades que se presenta aquí podría centrarse en los subcuadros 5, 11, 14, 15 y 17 para optimizar el empleo de recursos humanos y financieros limitados. Ésto se puede justificar al valorar la representatividad de especies en una escala mayor, puesto que *Echinomastus unguispinus* (presente en el subcuadro 24), *Leuchtenbergia principis* (presente en el subcuadro 2), y *Mammillaria lasiacantha* (presente en el subcuadro 1), aunque pueden ser raros a nivel regional y lo son claramente para el cuadro de estudio, presentan distribuciones de mayor amplitud. En dicho caso se estará buscando la conservación de 42 especies (93.33% del total) para la región de Mazapil y áreas adyacentes.

Se recuerda que la selección de las especies valoradas en los análisis de complementariedad se realizó de acuerdo a los criterios y supuestos planteados en la sección 3.3, mismos que pueden ser de gran utilidad para que programas de desarrollo dirigidos a ésta u otras áreas valoren oportunamente las posibilidades de conservación y empleo sustentable de los recursos naturales. La valoración de la rareza resulta de gran ayuda en la designación de prioridades y en particular, la estimación de la rareza media puede proporcionar una mayor flexibilidad en la construcción de los programas de conservación en función de los recursos humanos, materiales y financieros disponibles.

La inclusión de consideraciones en torno a otros grupos de la biota pudiera incidir en algunas adecuaciones en el diseño de las áreas prioritarias en una región, aunque se considera a las Cactaceae como especialmente vulnerables y relevantes en la designación de áreas protegidas. En última instancia, los resultados mostrados en el presente trabajo constituyen una evaluación conservadora de la proporción de las medidas necesarias para la protección ambiental en el área estudiada.

4.5 Correlación entre la distribución de las cactáceas en el área de estudio y los principales factores ambientales

El análisis y manejo de las matrices ambientales, así como el desarrollo del modelo climático se llevó a efecto siguiendo los métodos planteados en la sección respectiva (Sección 3.3.3). La información ambiental se encuentra sintetizada en las Tablas **i** e **iii** del anexo. Se incluye así mismo la valoración de las normales climatológicas de las estaciones empleadas en la Tabla **v**. Las Figuras 3 a 5, referidas en la introducción y en los métodos, así como las Figuras **i** e **iii** del anexo, ilustran la distribución del clima y diversos aspectos abordados en la evaluación realizada.

Los resultados de los análisis de componentes principales (ACP), realizados para profundizar en la identificación de factores ambientales determinantes para la distribución de las cactáceas de la región, se muestran en las Figuras **xi** a **xxxii** del anexo. Los patrones espaciales de las especies de Cactaceae se manejaron como matrices de presencia / ausencia, las cuales fueron transformadas oportunamente para homogeneizar las varianzas de los factores sometidos a prueba. Los diagramas de ordenación bipolar se acompañan por gráficas de distribución de las contribuciones porcentuales de los ejes componentes principales respectivos. Debido a la complejidad del sistema se optó por efectuar apreciaciones en torno a los primeros dos, lo cual se justifica por su mayor participación en la explicación de la varianza total.

El ACP general (Figura 16) muestra cierta redundancia para algunos factores ambientales, en particular para las temperaturas y la oscilación térmica media. Se realizaron simplificaciones de dicho análisis que arrojaron resultados prácticamente idénticos al original, por lo que se optó por presentar la versión completa. Los patrones generales de asociación observados en dicho análisis resultaron consistentes con las observaciones efectuadas en los análisis parciales, en los que se seleccionaron a las especies de acuerdo a las categorías de rareza planteadas en las secciones 3.3.1 y 4.3., así como su contraparte (generalistas).

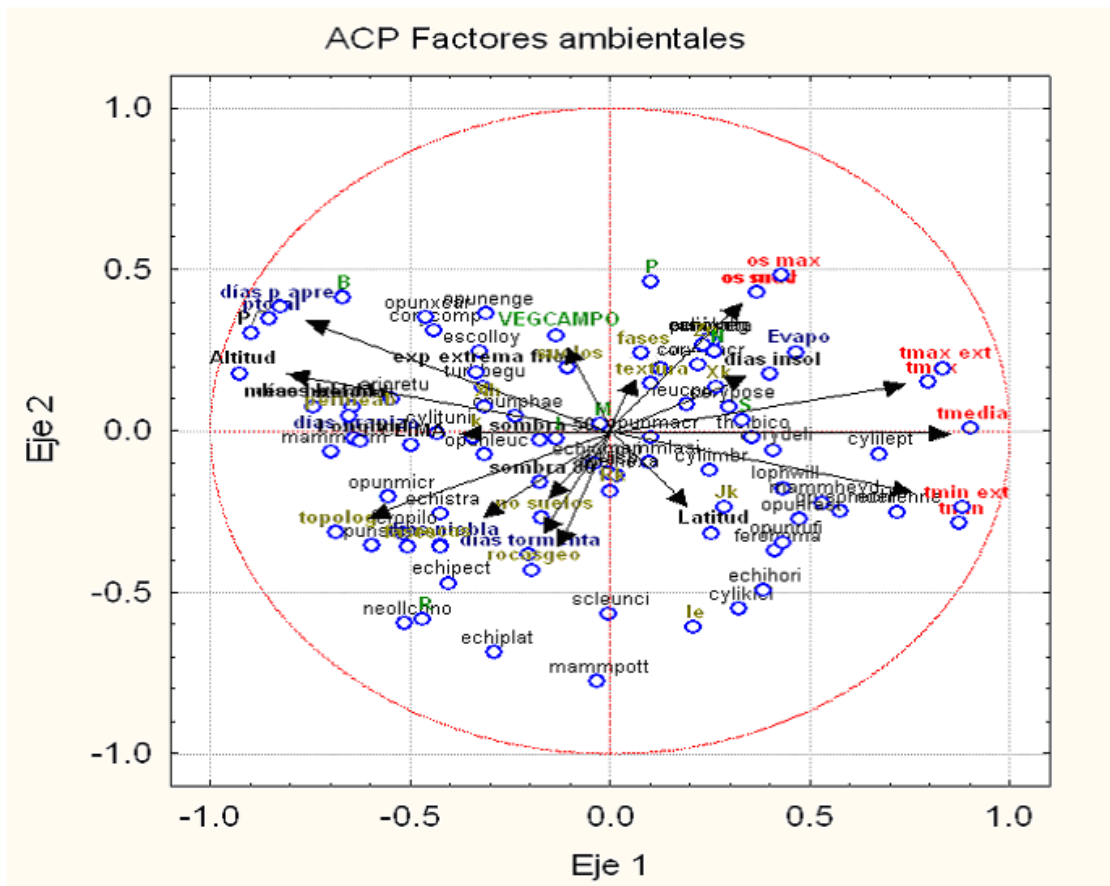


Figura 16 – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae en función de las variables ambientales. Eje 1 vs eje 2. (En el anexo se presenta una ampliación del mismo y resultados de diversos ACP).

Se ubicaron los factores con los cuales las especies parecen ordenarse en cada caso y se valoró la redundancia de dicho ordenamiento en los diferentes análisis. Dichos resultados se sintetizan en la Figura 17, en la que se señalan las potenciales relaciones ambientales para las especies del área de estudio. Se consideraron asociaciones más marcadas (denotadas mediante una "X") aquellas observadas en el ACP general y en al menos 2 ACP distintos, mientras que otras asociaciones notables (denotadas mediante una "V") presentan redundancia en tan sólo un ACP adicional. El sentido de las relaciones debe ser analizado con más detalle en estudios más específicos, aunque se adelantan ciertas consideraciones en torno a las preferencias ambientales de las especies.

Las especies generalistas edáficas, como cabría esperar, tienden a alejarse considerablemente de la mayoría de los puntos vinculados con la participación de los factores edafológicos, geológicos y topográficos (Figura VIII del anexo). *Echinocereus pectinatus*, *Ferocactus pilosus*, *Neolloydia conoidea*, *Opuntia rastrera*, y en menor grado, *Echinocactus platyacanthus*, conservan cierta relación con las fases del suelo, la topología y las rocas predominantes.

Figura 17 - Asociaciones más marcadas entre las especies de Cactaceae de la región y diversos factores ambientales preponderantes con base en los resultados de los análisis de componentes principales (ACP). Se tomó en consideración la distancia relativa desde la intersección de los ejes, así como a la redundancia total de aparición de las relaciones en los diversos acercamientos abordados. Las asociaciones más marcadas (observadas en el ACP general y en dos o más ACP distintos) son denotadas mediante una “X”, mientras que otras asociaciones notables se destacan mediante una “V”. (* Medias mensuales; *¹ Días con heladas; *² Días con niebla; *³ terreno accidentado).

Especies	Temperaturas medias*	Temperaturas máximas*	Temperaturas mínimas*	Oscilación térmica*	Exposición al frío extremo* ¹	Precipitación* y P/T'	Evaporación*	Espacialización edáfica	Niebla* ²	Topología* ³
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> (Lem.) K. Schum.				X				X		
<i>A. retusus</i> Scheidw.					X	X				
<i>Coryphantha compacta</i> (Engelm.) Britton & Rose					X	X				
<i>C. delicata</i> L. Bremer	X	V	X							
<i>C. macromeris</i> (Engelm.) Lem.	V	X		V			V			
<i>C. poselgeriana</i> (A. Dietr.) Britton & Rose	V	X					V	v		
<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	V		V							
<i>C. kleiniae</i> (D.C.) F. M. Knuth										
<i>C. leptocaulis</i> (D.C.) F. M. Knuth	X	V	X							
<i>C. tunicata</i> (Lehm.) F.M. Knuth						V				
<i>Cylindropuntia</i> aff. <i>davisii</i>				V				V		
<i>Echinocactus horizonthalonius</i> Lem.			V							
<i>E. platyacanthus</i> Link & Otto									X	
<i>Echinocereus enneacanthus</i> Engelm.	X									
<i>E. palmeri</i> Britton & Rose ssp. <i>mazapil</i> H.M. Hern. & C. Gómez-Hinost.								V		
<i>Echinocereus parkeri</i> N.P. Taylor ssp. <i>mazapilensis</i> Blum & Lange					V	V		V	V	V

<i>E. pectinatus</i> (Scheidw.) Engelm.									X	V
<i>E. stramineus</i> (Engelm.) F. Seitz									V	V
<i>Echinomastus unguispinus</i> (Engelmann) Britton & Rose								V	V	
<i>Escobaria lloydii</i> Britton & Rose					V	V		V		
<i>Ferocactus hamatacanthus</i> (Muehlenpf.) Britton & Rose	X									
<i>F. pilosus</i> (Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm.					V				X	X
<i>Grusonia moelleri</i> (A. Berger) E. F. Anderson	X									
<i>Leuchtenbergia principis</i> Hook.	V	V		V				V	V	
<i>Lophophora williamsii</i> (Lem. ex Salm-Dyck) J.M. Coult.	X									
<i>Mammillaria formosa</i> Galeotti ex Scheidw.							V			
<i>M. heyderi</i> Muehlenpf.	X									
<i>M. lasiacantha</i> Engelm.		V	V					V		
<i>M. pottsii</i> Scheer ex Salm-Dyck									V	
<i>Neolloydia conoidea</i> (DC.) Britton & Rose									X	
<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck					X	V				
<i>O. leucotricha</i> DC.						V				
<i>O. macrocentra</i> Engelm.	V	V	V	X				X		
<i>O. microdasys</i> (Lehm.) Pfeiffer						X				V
<i>O. phaeacantha</i> Engelm.					V	V				
<i>O. rastrera</i> F.A.C. Weber	X									
<i>O. rufida</i> Engelm.			V							
<i>O. stenopetala</i> Engelm.									V	X
<i>O. xcarstenii</i> Puente & Hamann					V	V				
<i>Peniocereus greggii</i> (Engelm.) Britton & Rose				V				V		
<i>Sclerocactus uncinatus</i> (Galeotti) N.P. Taylor									V	
<i>Stenocactus multicostatus</i> (Hildm. ex K. Schum.) A. Berger ex A.W. Hills						X				
<i>Thelocactus bicolor</i> (Galeotti ex Pfeiff.) Britton & Rose	V	X						V		
<i>T. hexaedrophorus</i> (Lem.) Britton & Rose									X	
<i>Turbincarpus beguinii</i> (N.P. Taylor) Mosco & Zanovello					V	V		V		

Se observan relaciones potenciales con las temperaturas para *Cylindropuntia imbricata*, *Echinocereus enneacanthus*, *Grusonia moelleri* y *Mammillaria heyderi*, las cuales fueron confirmadas y definidas con mayor detalle en varios de los ACP restantes. El análisis complementario, correspondiente a las especies con mayor grado de especialización edáfica (Figura vi del anexo) permitió reconocer asociaciones en los casos siguientes: *Ariocarpus kotschoubeyanus*, *Coryphantha macromeris*, *C. poselgeriana*, *Leuchtenbergia principis*, y *Peniocereus greggii*, entre otras en menor grado.

Las asociaciones más fuertes, corroboradas en cuatro o más acercamientos (ACP general, ACP de factores climáticos, y ACP para generalistas y/o especialistas climáticos), corresponden a las siguientes especies: *A. retusus* con la precipitación total (e índice P / T') y con la exposición al frío extremo, *Coryphantha poselgeriana* con la temperatura máxima, así como *Coryphantha compacta*, con la exposición al frío extremo. Es posible que *Echinocereus parkeri* ssp. *mazapilensis*, *Escobaria lloydii*, *Opuntia xcarstenii* y *Turbinicarpus beguini* presenten preferencias por las bajas temperaturas, presencia de niebla y mayores niveles de humedad efectiva.

El sentido o direccionalidad de tales asociaciones y de otras condensadas en la Figura 17 no se encuentra necesariamente establecido de facto, ya que los análisis valoran la distribución en la contribución a la varianza total de los datos originales transformados en eigenvalores. Es posible, no obstante, plantear la potencial direccionalidad de tales relaciones en función al conocimiento básico de la biología de dichas especies. En este sentido se destacan las siguientes agrupaciones de especies con preferencias particulares bien definidas:

1) Preferencia por el tipo de suelo o sustrato (especialización edáfica)

Echinocereus palmeri ssp. *mazapil*

2) Preferencia por el tipo de suelo y por una oscilación térmica moderada

Ariocarpus kotschoubeyanus, *Cylindropuntia* aff. *davisii* y *Peniocereus greggii*

3) Preferencia por el tipo de suelo y por temperaturas medias, máximas y/o mínimas templadas

Mammillaria lasiacantha y *Opuntia macrocentra*

4) Preferencia por el suelo, temperaturas medias y máximas elevadas y evaporación elevada

Coryphantha poselgeriana y *Leuchtenbergia principis*

5) Preferencia por el tipo de suelo, clima BS₀kw(e) y presencia de niebla poco frecuente

Echinomastus unguispinus

- 6) Preferencia por el tipo de suelo, soportan la exposición extrema al frío y elevado P / T'
Escobaria lloydii y *Turbinicarpus beguini*
- 7) Preferencia por temperaturas medias y máximas elevadas, así como evaporación elevada
Coryphantha macromeris y *Thelocactus bicolor*
- 8) Preferencia por temperatura media elevada y temperaturas extremas considerables
Cylindropuntia leptocaulis, *Coryphantha delicata*, *Echinocereus enneacanthus*, *Ferocactus hamatacanthus*, *Grusonia moelleri*, *Lophophora williamsii*, *Mammillaria heyderi* y *Opuntia rastrera*
- 9) Limitación por temperaturas mínimas
Opuntia rufida y *Cylindropuntia keliniae*
- 10) Resistencia a la exposición extrema al frío y elevado P / T'
Coryphantha compacta
- 11) Preferencia por los tipos de clima templados y BS₁, resistencia al frío extremo y elevado P/ T'
Ariocarpus retusus
- 12) Preferencia por los tipos de clima templados y BS₁kx'(w)(e), con limitaciones por la elevación del P / T'; la primera especie es de menor talla cuando habita en climas más secos (BS y BW).
Cylindropuntia tunicata y *Mammillaria formosa*
- 13) Preferencia por los tipos de clima templados y BS₁kx'(w)(e), así como elevado P / T'
Stenocactus multicostatus
- 14) Preferencia por el tipo de clima C(m)(f)b(e) y presencia frecuente de niebla
Echinocereus parkeri ssp. *mazapilensis*
- 15) Preferencia por el terreno moderadamente accidentado (lomas y cerros) y eventual niebla
Echinocereus pectinatus, *Ferocactus pilosus* y *Opuntia stenopetala*
- 16) Preferencia por sitios con presencia frecuente de niebla
Echinocactus platyacanthus (?), *Mammillaria pottsii*, *Sclerocactus uncinatus* (?) y *Thelocactus hexaedrophorus* (?)

Las asociaciones encontradas pueden representar coincidencias en la abstracción de la información en algunos casos debido a las razones expuestas anteriormente en torno a la escala temporal de todo muestreo factible y al dinamismo del proceso evolutivo, no obstante la gran mayoría parecen bastante plausibles y sería interesante ponerlas a prueba en estudios futuros que se interesen por aspectos detallados de la ecofisiología de Cactaceae. *Opuntia microdasys* efectivamente muestra cierta preferencia por los climas secos (BS), pero su relación con las precipitaciones no está del todo clara y algunos de los registros se hicieron en áreas con climas menos áridos. Las especies del grupo 16, en especial las marcadas mediante un signo de interrogación (?) se presentan en sitios con exposición diferencial a la niebla, por lo que no queda muy claro si ésta efectivamente constituye un factor con el que se relacionan o si dicha relación se debe únicamente a la localización de dichas especies en ambientes montañosos. Los primeros tres casos suelen ocurrir en terreno moderada a elevadamente accidentado. La relevancia de la niebla parece algo más probable para *Echinocereus stramineus* y *E. parkeri* ssp. *mazapilensis*.

4.5.1 Correlaciones entre los factores ambientales

Las correlaciones significativas entre las variables o factores ambientales ocurren únicamente a nivel de los factores climáticos, como cabría esperar dada la amplia heterogeneidad del ambiente y la complejidad de los sistemas involucrados. Pueden existir otros patrones interesantes que se pudieran abordar a través de análisis matriciales y funciones matemáticas más avanzadas en el futuro, las cuales pudieran resultar sumamente interesantes.

Existe una correlación directamente proporcional entre la distribución de la precipitación media del área de estudio y la temperatura media en la misma. Dicha correlación puede describirse a través de una función lineal, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0.4916 ($P > 0.95$), y a través de una función polinomial de tercer grado con un coeficiente mucho más elevado (0.659; $P > 0.95$; Figura 18). Si se realizan pruebas a nivel de localidades individuales se puede esperar encontrar correlaciones muy elevadas como resultado del modelo aplicado en la estimación de los niveles de precipitación locales. La notable correlación entre los promedios de las dos variables ambientales constituye una medida de confianza en la determinación de las estimaciones relacionadas con las anomalías de lluvia.

Se encontraron las siguientes correlaciones significativas entre el gradiente altitudinal y dos factores ambientales: la temperatura media muestra una relación inversamente proporcional ($R^2 = 0.7451$; $P > 0.95$), mientras que la precipitación total presenta una relación directamente proporcional ($R^2 = 0.8635$ para una función lineal y $R^2 = 0.8814$ para una función polinomial de tercer grado; $P > 0.95$). Otras correlaciones entre la altitud y diversas variables climáticas se han puesto a prueba con resultados interesantes, pero se omiten del presente por resultar redundantes con lo expuesto en la Figura 19. El comportamiento del modelo climático corresponde adecuadamente con los planteamientos generales de la climatología y se considera un buen acercamiento para el enfoque del estudio.

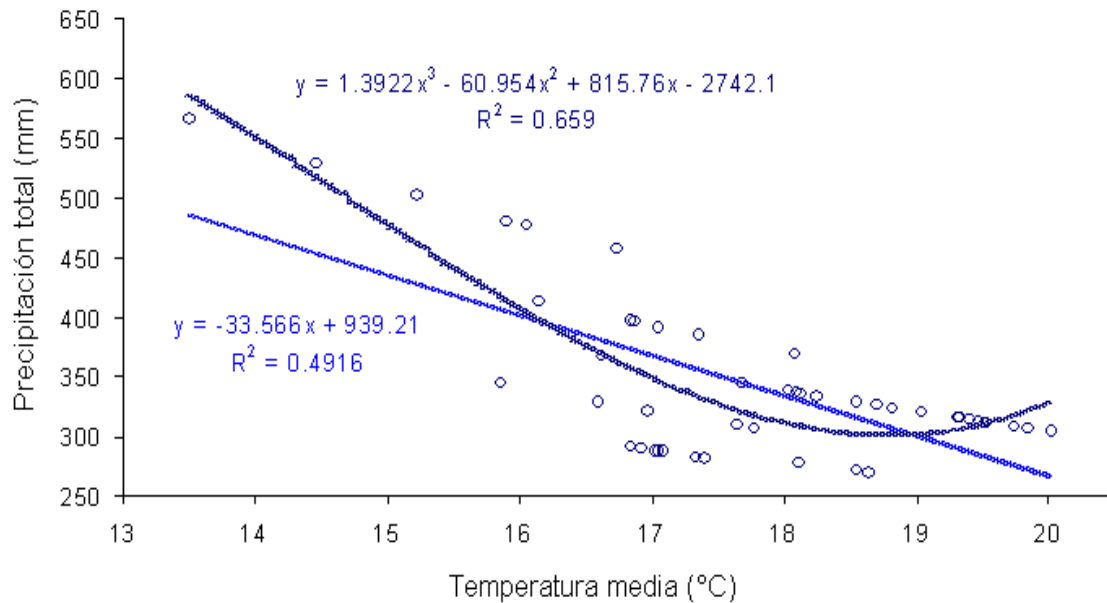


Figura 18 – Relación entre la temperatura media y la precipitación total estimada para las localidades. Se muestran los gráficos de las funciones que mejor explican la relación y se denotan sus ecuaciones. $P > 0.95$

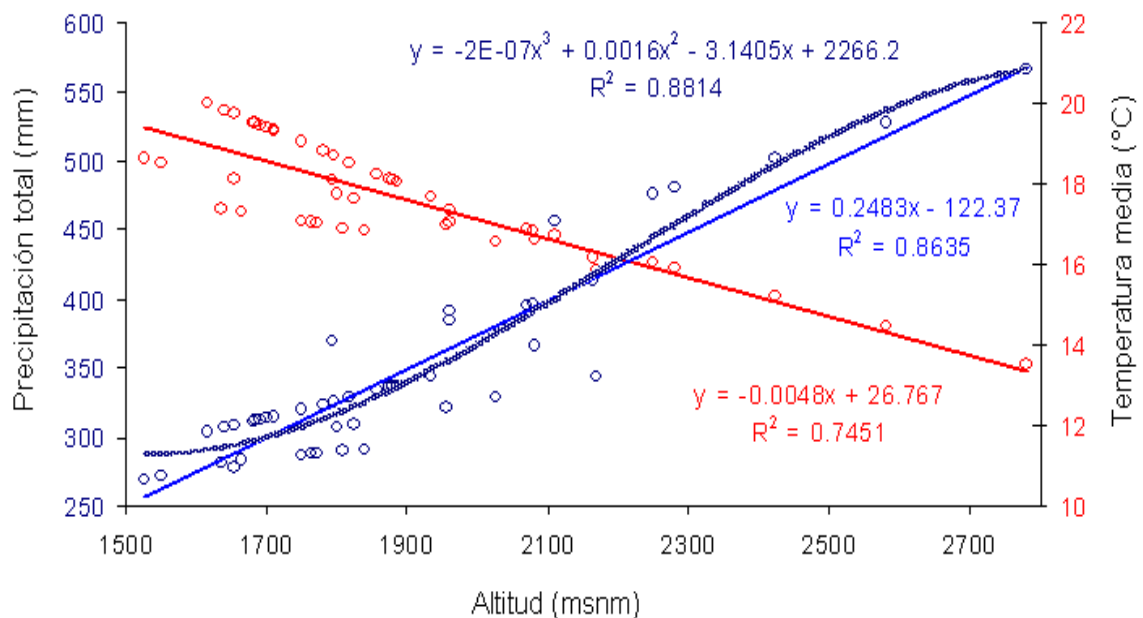


Figura 19 – Relación entre la altitud de las localidades y dos factores dependientes: la **temperatura media** y la **precipitación total**. Se muestran las gráficas y ecuaciones de las funciones con mayor poder explicatorio. $P > 0.95$

4.5.2 Consideraciones finales

En el planteamiento de las hipótesis de trabajo se incluyeron algunas propuestas relativas a la posible asociación de los factores ambientales preponderantes con la riqueza local de especies. El análisis de la información ha mostrado que no existen correlaciones estadísticamente significativas entre los niveles de precipitación, la temperatura media y/o la altitud con respecto a la riqueza total de especies de cactáceas en las localidades (Referir a la Sección 4.2). Se notan, no obstante, patrones generales muy bien definidos para algunas de las especies, que merecen ser tomados en cuenta. El hecho de que no exista, al menos en el área de estudio, una vinculación evidente entre la riqueza de Cactaceae y ciertos factores ambientales individuales, refleja la gran complejidad del sistema y la amplia variedad de adaptaciones, hábitos e historias de vida que las cactáceas poseen. También es resultado de la interacción de una multitud de factores en la caracterización o configuración de un medio local determinado, en la cual los efectos de una variable pueden ser sinergizados o por el contrario, diluidos, por la existencia de otras variables preponderantes. En realidad la complejidad del sistema no permite abordar la comprensión del mismo desde una postura meramente reduccionista y precisamente por tal motivo resultó de gran interés valorar los efectos conjuntos de los factores ambientales. Resulta interesante destacar la importancia de las temperaturas mínimas y de la exposición al frío extremo en la determinación de los patrones espaciales de algunas especies.

A través de los métodos planteados fue posible reconocer los patrones biogeográficos principales de las especies de Cactaceae en el área de estudio, así como determinar las asociaciones más relevantes con los factores ambientales preponderantes. Los patrones espaciales encontrados y la evaluación ambiental, especialmente aquella concerniente a la climatología y edafología del área, facilitó la revisión de acercamientos diversos e interesantes en cuanto a la evaluación de las formas de rareza y al establecimiento de criterios para definir posibles áreas de conservación.

Todo método presenta aspectos ventajosos y limitaciones. En la presente investigación se logró una visión bastante buena de los patrones espaciales y ambientales del área de interés, se analizaron dichos patrones de acuerdo a la diversidad de las cactáceas del área y a algunas consideraciones generales en torno al conocimiento actual de la biología de las especies encontradas. Resultó particularmente interesante denotar la relevancia de algunos factores ambientales específicos para determinadas especies del grupo. Lo anterior, no obstante, no necesariamente señaló la dirección de la influencia de las variables involucradas en todos los casos a pesar de orientar las perspectivas de búsqueda futuras. También debe tomarse en consideración la limitación geográfica del estudio, sobre todo para el caso de las especies con bajas o muy bajas presencias.

Las relaciones ambientales planteadas para las especies son en gran medida de carácter preliminar en relación con las áreas de distribución de las mismas. Las especies con distribuciones más extensas fuera de la región presentan el mayor grado de incertidumbre en ese sentido, en especial cuando ocurren en sitios distintos a aquellos caracterizados en el área de estudio. No obstante, el acercamiento empleado ha pretendido obtener el mejor provecho del



Llanos inundables al SE de Saltillo, Coahuila.

conocimiento detallado de los patrones espaciales de las cactáceas, de datos edáficos confiables y de una partición climática muy precisa para el área de estudio. El estudio detallado del ambiente en la totalidad del área de distribución de una especie no garantiza la inclusión de la totalidad de las configuraciones ambientales en que dicha especie puede o pudo habitar, aunque puede proporcionar un mayor poder de resolución. Aunque existen evidentes limitaciones técnicas, en muchos casos es posible profundizar en la comprensión de la relación de las especies con su ambiente.

El acervo de conocimiento en torno al grupo tiene aún que ampliarse en forma considerable a escalas semejantes a la empleada, lo que llevará a la generación de un mejor inventario de los recursos bióticos, tan necesario para la comprensión, el tentativo uso racional y la conservación de la biodiversidad (Dirzo y Raven, 1996). Las prioridades asentadas en el presente estudio resultan de considerable interés para la región, mas deberán ser contrastadas con el conocimiento que surja de la continuación de tales esfuerzos para obtener un óptimo rendimiento de los recursos que se puedan divergir hacia el rubro de la conservación y para planificar los programas que permitan superar dichos retos en los años venideros.

5.0 Conclusiones

- La diversidad de Cactaceae encontrada es considerable. El cuadro geográfico objeto del estudio se puede situar como un área relevante, aunque está por debajo de la diversidad encontrada en los valles centrales de San Luis Potosí y el extremo nororiental del estado de Guanajuato.
- El patrón de riqueza resultó más homogéneo que en otros cuadros similares con elevada diversidad de cactáceas, no obstante, los patrones espaciales particulares de las especies son complejos y definen un cierto nivel de heterogeneidad taxonómica. La variación en la riqueza entre los subcuadros está dada especialmente por especies con uno o más componentes de rareza, que resultan relativamente escasas en reiteradas ocasiones.
- La rareza de las especies está frecuentemente vinculada con sus preferencias ecofisiológicas, varias de las cuales fueron identificadas en forma general. Se sugiere profundizar en torno a su comprensión implementando métodos complementarios en ésta y otras regiones.
- La valoración de la rareza según los criterios de Rabinowitz resulta muy interesante e informativa, sin embargo muestra un considerable grado de inflexibilidad al momento de asignar prioridades. Por su estructuración resulta prácticamente imposible definir de manera imparcial un nivel de prioridad específico dado en función de recursos finitos disponibles para la conservación o el manejo planificado de los recursos. Esto sucede debido a que no es posible juzgar fácilmente la prioridad de cada uno de sus tres componentes esenciales. Se propone una valoración de la rareza (rareza media), la cual pondera equitativamente todos los componentes informativos disponibles.
- La rareza media proporciona una mayor flexibilidad que la clasificación de Rabinowitz y puede resultar especialmente interesante si se pretende abordar un programa de manera exitosa. Las valoraciones de la rareza y la asignación de las áreas prioritarias, por supuesto, girarán en torno al conocimiento integral de la especie y del resto de los componentes bióticos y abióticos de la región en cuestión. Se sugiere que el empleo de dicha valoración en la asignación de las prioridades para la conservación no subestimaré de forma significativa la participación de las diferentes formas de rareza.

- Una asignación eficiente de prioridades puede ser elaborada en función de los recursos disponibles para sostener las actividades de manejo y conservación necesarias, o bien, idealmente, los recursos necesarios podrían calcularse en función de lo que se considera preponderante conservar en un área. Se tiene entonces una paradoja difícil de abordar a entera satisfacción, cuya apreciación dependerá del establecimiento de criterios y de las posibilidades de acción reales. El empleo de muestreos sistemáticos proporciona la información relevante para la optimización de los esfuerzos, así como para un seguimiento de la evolución de los patrones espaciales de la biodiversidad. Se requieren acciones relevantes en torno a este conocimiento en multitud de rubros.

- A nivel del cuadro geográfico, las cactáceas que muestran mayores exigencias ambientales en relación con el tipo de suelo, los factores térmicos y la disponibilidad de agua, son *Ariocarpus kotschoubeyanus*, *Coryphantha macromeris*, *C. poselgeriana*, *Echinocereus palmeri* ssp. *mazapil*, *Echinomastus unguispinus*, *Escobaria lloydii*, *Leuchtenbergia principis*, *Mammillaria lasiacantha*, *Opuntia macrocentra*, *Peniocereus greggii* y *Turbincarpus beguinii*. Así mismo, *Opuntia xcarstenii* y *Thelocactus hexaedrophorus* pueden estar considerablemente limitadas.

- A nivel del cuadro geográfico, las especies que presentan menores requerimientos especiales, es decir, aquellos que pueden prosperar en una situación de variabilidad ambiental más amplia, incluyen: *Cylindropuntia kleiniae*, *C. tunicata*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus hamatacanthus*, *Ferocactus pilosus*, *Mammillaria heyderi*, *Opuntia engelmannii*, *O. rastrera*, *O. rufida* y *Sclerocactus uncinatus*. Dichas especies pueden presentar, no obstante, ciertas limitaciones para colonizar algunos tipos de ambientes.

- Las asociaciones observadas y la valoración de la rareza presentada en este trabajo reflejan la situación existente en el cuadro geográfico estudiado y sirven como lineamientos para la realización de valoraciones similares. Es importante, sin embargo, no perder de vista la escala geográfica a la cual hacen referencia y considerar la posibilidad de que al considerar áreas de mayor amplitud, como las correspondientes a la distribución completa de ciertas especies, las asociaciones ambientales y las valoraciones de la rareza pueden divergir de los patrones identificados en este trabajo.

- Los ambientes idóneos para la vida de *Opuntia chaffeyi* se encuentran limitados y es posible que dicha especie se encuentre casi extinta. No obstante, aún es posible que futuras búsquedas intensivas permitan la ubicación de remanentes de la población original dentro de este cuadro geográfico y en un área cercana al mismo, y en todo caso se podría plantear un programa de reintroducción controlada.

- La manera ideal de mantener poblaciones de las especies amenazadas en la región, transita por la planificación y el control riguroso del pastoreo en áreas selectas. Sería positivo estructurar un programa de conservación en torno a áreas núcleo en las que se restringiese la actividad transformadora del ser humano, misma que tendría que ser reorientada hacia el resto del área. La introducción de tecnologías y el asesoramiento agropecuario pudieran permitir un uso alternativo de los recursos locales, que permita desarrollar sistemas sustentables.

- Estudios con enfoques similares al presente pueden contribuir a ampliar el conocimiento en torno a la biología de las Cactaceae en el medio natural y servir de guía para orientar las medidas de conservación en áreas particulares. No obstante, es prioritario que se asignen recursos sustanciales al rubro y que se coordine la aplicación de programas de conservación en forma conjunta a programas socioeconómicos factibles que interesen a los habitantes locales en los beneficios de preservar un medio más rico.

- Los actuales patrones espaciales de las Cactaceae de ésta y otras regiones son resultado de un largo proceso de transformación ambiental, un continuo flujo evolutivo, en la última parte del cual el ser humano ha cobrado especial relevancia. A pesar de los estragos atribuibles a la acción pasada de la actividad minera y al actual sobrepastoreo, la flora de la región parece conservar una notable riqueza. Las condiciones climáticas no han variado de manera significativa en los últimos 70 años (con base en el análisis de la información ambiental existente se sabe que hubo una ligera desecación y un ligero descenso de las temperaturas medias), incluso ante las actuales tendencias globales. Por tanto parece bastante apropiado sugerir la consideración del cuadro geográfico en los esfuerzos de conservación, especialmente en lo que concierne a la familia Cactaceae, con tantos ejemplos de plantas vulnerables. Vivimos en una época crítica, ahora el alcance de la tecnósfera y de las demandas humanas es tal que nos obliga a mirar en forma integral y profunda las conexiones que guardan con la Tierra, a responsabilizarnos de nuestras acciones y velar por una transformación equilibrada y oportuna de los paradigmas socioeconómicos imperantes. Los retos son extensos, de carácter simultáneo y multifacético, los problemas son complejos y parecen superar nuestras posibilidades, más la sinergia de las contribuciones puede develar nuevas posibilidades constructivas y abrir paso a transiciones ilustres.

6.0 Referencias

- Alcántara A. y A. Valiente-Banuet. 1997. Factores determinantes en la distribución diferencial entre cactáceas columnares en la cuenca de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. I Congreso Nacional sobre Cactáceas. P. 22
- Anderson E.F., 2001. The Cactus Family. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 776 pp.
- Arita H., F. Figueroa, A. Frisch, P. Rodríguez & K. Santos Del Prado, 1997. Geographical range size and conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology* 11: 92-100.
- _____ & P. Rodríguez, 2002. Geographic range, turnover rate and scaling of species diversity. *Ecography* 25: 541-550.
- Arriaga L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (Coordinadores), 2000. Regiones Terrestres Prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 609 pp.
- Bárcenas-Luna R.T. 1999. Patrones de distribución de cactáceas en el Estado de Guanajuato. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 25 pp.
- Barth R.C. & J.O. Klemmenson. 1982. Amount and distribution of dry matter, nitrogen and organic carbon in soil-plant systems of mesquite and palo verde. *J. of Range Management* 35: 412-418.
- Barthlott W. & D.R. Hunt, 1993. Cactaceae. In: Kubitzki K., J. Rohwer & V. Bittrich (Eds.), The families and genera of vascular plants. II Dicotyledons. Berlin.
- Berlyn G.P. & J.P. Miksche. 1976. Botanical microtechnique and cytochemistry. Iowa State University Press, Ames.
- Betancourt J.L., Van Devender, T.R., and Martin, P.S. 1990. Packrat Middens The Last 40,000 years of Biotic Change. Univ. Arizona Press, Tucson, 467 pp.
- Bittrich V., 1993. Introduction to Centrospermae. In: Kubitzki K., J. Rohwer & V. Bittrich (Eds.), The families and genera of vascular plants. II Dicotyledons. Berlin.
- Bravo-Hollis H., 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico D.F. 743 pp.
- _____ y H. Sánchez-Mejorada, 1991a. Las Cactáceas de México. Vol. 2. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- _____ y H. Sánchez-Mejorada, 1991b. Las Cactáceas de México. Vol. 3. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- _____ y L. Scheinvar, 1995. El Interesante Mundo de las Cactáceas. Fondo de Cultura Económica. México D.F. 233 pp.
- _____, 1997. Introducción, en: Suculentas mexicanas, Cactáceas. CONABIO, México. 143 pp.
- Briones O.L., 1994. Origen de los desiertos mexicanos. *Ciencia* 45: 263-279.
- Brown L.R. 2006. Plan B 2.0 Rescuing a Planet Under Stress and a Civilization in Trouble. Earth Policy Institute.
- Casas A. & G. Barbera, 2002. Mesoamerican domestication and difusion. In: Nobel P.S. (Ed.) Cacti. Biology and Uses. University of California. P. 143-162.
- Ceballos G. & J. Brown, 1995. Global patterns of mammalian diversity, endemism and endangerment. *Conservation Biology* 9: 559-568.
- _____, P. Rodríguez & R.A. Medellín, 1998. Assesing conservation priorities in Megadiverse México: mammalian diversity, endemicity and endangerment. *Ecological Applications* 8(1): 8-17.

- Chan-Castañeda J.L., A. Mejía, S. Haro, R. Juárez, T. Arteaga, J.I. Dávila, J.O. Enríquez, S. Méndez, I. Mejía, D. Rodríguez, J. Ramos, O. Rivas, P. Rodríguez, F. Cabral, F. Román, R. Veyna y H. Berúmen, 1995. Evaluación y aprovechamiento racional de los recursos agropecuarios y forestales de la región semidesértica de Zacatecas. Cuadernos de Trabajo. Subdirección de Investigación Agropecuaria. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México. 209 pp.
- Charley J.N. & N.E. West, 1975. Plant-induced soil chemical patterns in some shrub-dominated semi-desert ecosystems of Utah. *J. of Ecology* 63: 945-963.
- CITES (Convention on International Trade of Endangered Species), 1990, 1992. Appendices I, II and III to the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. US Fish and Wildlife Service, US Department of Interior, Washington DC.
- _____, 2007. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. www.cites.org
- Clement J.S. & T.J. Mabry, 1996. Pigment evolution in Caryophyllales: a systematic overview. *Bot. Acta* 109: 360-367.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad), 1997a. Carta de Climas. Nuevo León, Escala 1:1,000,000
- _____, 1997b. Carta de Isothermas anuales. Nuevo León, Escala 1:1,000,000
- _____, 1997c. Carta de Precipitación total anual. Nuevo León, Escala 1:1,000,000
- _____, 2006. Información y cartografía digital. www.conabio.gob.mx
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2000. Áreas naturales protegidas de México. México D.F. 107 pp.
- _____, 2007. Información y cartografía digital. www.conanp.gob.mx
- CONAPO (Comisión Nacional de Población), 1996. Situación demográfica del Estado de Zacatecas. México D.F., México. 32 pp.
- Contreras A., 1955. Definición de las zonas áridas y su delimitación en la República Mexicana. En: Beltrán E. (Ed.), Problemas de las zonas áridas de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México D.F.
- CBD of UNEP (Convention on Biological Diversity, United Nations Environmental Program). www.biodiv.org
- Cornet A., J.P. Delhoume & C. Montaña. 1988. Dynamics of striped vegetation patterns and water balance in the Chihuahuan Desert. In: During H.J., M.J. Werger & J.H. Willems (Eds.) Diversity and Pattern in Plant Communities. The Hague, SPB Academic Pub. 278 pp.
- Cronquist A., 1981. An integrated system of classification of flowering plants. NY USA.
- _____, & R.F. Thorne, 1994. Nomenclatural and taxonomic history. In: Behnke H.D. & T.J. Mabry. (Eds.), Caryophyllales, evolution and systematics. Berlin.
- Diamond J. 2005. Collapse: How societies choose to fail or succeed. Viking. New York. USA
- Dirzo R. 1990. La biodiversidad como crisis ecológica actual ¿qué sabemos? *Ciencias* (No. especial) 4:48-55.
- Dunkerley D. 2000. Hydrologic effects of dryland shrubs: defining the spatial extent of modified soil water uptake rates at an Australian desert site. *J. of Arid Environ.* 45: 159-172.
- Ehleringer J.R., 1984. Intraespecific competitive effects on water relations, growth and reproduction in *Encelia farinosa*. *Oecologia* 63: 153-158.

- Elkins N.Z., G.V. Sabol, T.J. Ward & W.G. Whitford. 1986. The influence of subterranean termites on the hydrological characteristics of a Chihuahuan Desert ecosystem. *Oecologia* 68: 521-528.
- Eschner A.R. 1967. Interception and soil moisture distribution. In: Sopper W.E. & H.W. Lull (Eds.), For. Hydrol., Pergamon Press, New York. pp. 191–200.
- Fleming T.H. & A. Valiente-Banuet. (Eds.), 2002. Columnar Cacti and Their Mutualists. Evolution, Ecology and Conservation. The University of Arizona Press. Tucson, USA. 371 pp.
- Flores J.L. & R.I. Yeaton, 2003. The replacement of arborescent cactus species along a climatic gradient in the southern Chihuahua Desert: competitive hierarchies and response to freezing temperatures. *J. of Arid Environ.* 55: 583-594.
- Franco A.C. & P.S. Nobel, 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti *J. Ecol.* 77: 870-886.
- Fuller D. & S. Fitzgerald, 1987. Conservation and Commerce of cacti and other succulents. World Wildlife Fund. Washington DC. 264 pp.
- García E., 1964, 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Publicado por la autora. México, D.F. 217 pp.
- _____, 1968, 1978. Apuntes de Climatología. México. 153 pp.
- _____, M.E. Hernández y M.D. Cardoso, 1983. Las gráficas ombrotérmicas y los regímenes pluviométricos. IX Congreso Nacional de Geografía. Tomo I: 140-149. Guadalajara, Jalisco. México.
- _____ y N. Sánchez-Santillán, 1996. Análisis climático de la Reserva de la Biosfera “El Cielo”. *Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia* 45: 181-199.
- García-Moya E. & C.M. McKell. 1970. Contributions of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology* 51: 81-88.
- Gaston J.K., 1994. Rarity. Chapman & Hall, London. 205 pp.
- Gibson A.C. & P.S. Nobel, 1986. The cactus primer. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA.
- _____, 1994. Vascular tissues. In: Behnke H.D. & T.J. Mabry. (Eds.), Caryophyllales, evolution and systematics. Berlin.
- Glass C.E., 1998. Cactáceas Amenazadas de México. CONABIO / CANTE
- Godínez-Álvarez H., T. Valverde & P. Ortega-Baes, 2003. Demographic trends in Cactaceae. *The Botanical Review* 69 (2): 173-203.
- Goettsch B. & H.M. Hernández, 2006. Beta diversity and similarity among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. *J. of Arid Environ.* 65: 513-538.
- Gómez-Hinostrosa C., 1998. Diversidad, distribución y abundancia de cactáceas en la región de Mier y Noriega, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 49 pp.
- _____ & H.M. Hernández, 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 9: 403-418.
- Gómez-Pompa A. y R. Dirzo, 1994. Reservas de la biósfera y otras áreas naturales protegidas de México. INE / CONABIO. Mexico.

- González y Del Valle, 2004. Representatividad de Cactaceae en las ANP. En: Hernández M.P., Cházaro R.M., Cházaro M. y J.A. Vázquez (Eds.), *Memorias del IV Congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. Guadalajara, Jalisco. México. 269 pp.
- Guzmán U., Arias S. y P. Dávila. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México / CONABIO, México. 315 pp.
- Henrickson J. & R.M. Straw, 1976. *A gazeteer of the Chihuahuan Desert Region*. California State University, Los Angeles, CA., USA.
- _____ & M. Johnston, 1986. Vegetation and community types of the Chihuahuan Desert. In: Barlow J., A.M. Powell & B.N. Timmermann (Eds.), *Invited papers from the Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region. United States and Mexico*. Chihuahuan Desert Research Institute, Alpine, Texas, USA. P. 20-39.
- Hernández, H.M., V. Alvarado y R. Ibarra, 1993. Base de datos de colecciones de cactáceas de Norte y Centroamérica. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México, Bot.* 64: 87-94.
- _____ y H. Godínez A., 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana* 26: 33-52.
- _____ & R.T. Bárcenas, 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution Patterns. *Conservation Biol.* 9 (5): 1176-1188.
- _____ & _____, 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and conservation. *Conservation Biol.* 10 (4): 1200-1209.
- _____, C. Gómez-Hinostrosa & 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.
- _____, 2002. Conservation of cacti in the Chihuahuan Desert of Northern Mexico. *Plant Talk* 29: 24-28.
- _____ & C. Gómez-Hinostrosa, 2002. An integrated approach to the conservation of Cacti in México. In: *Plant Conservation in the Tropics. Perspectives and Practice*. Royal Botanic Gardens, Kew. UK
- _____, _____ & B. Goettsch, 2004. Checklist of Chihuahuan Desert Cactaceae. *Harvard Papers in Botany* 9 (1) : 51-68.
- _____ & _____, 2005. Cactus diversity and endemism in the Chihuahuan Desert Region. En: Carton, E. J., Cevallos G. & R. S. Felger (eds.), *Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press.
- Hershkovitz M.A., 1989. Phylogenetic studies in Centrospermae: a brief appraisal. *Taxon* 38: 602-608.
- _____ & E.A. Zimmer, 1997. On the evolutionary origins of the cacti. *Taxon* 46 (2): 217-232.
- Heywood V.H. & R.T. Watson, (Eds.), 1995. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, New York.
- Humphries C., Vane-Wright D. & P. Williams, 1991. Biodiversity reserves: setting new priorities for the conservation of wildlife. *Parks* 2 (2): 34-38.
- Hunt D., 1999. CITES Cactaceae checklist. Royal Botanic Gardens Kew/ International Organization for Succulent Plant Study, England.

- INE (Instituto Nacional de Ecología), 2005. Cartografía digital de la vegetación en la región de Zacatecas y Coahuila. Facilitado por B. Goettsch.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Topografía impresa (1972) y en formato digital (2000, proporcionado por CONABIO) respectivo a las cartas topográficas: Sierra Zuloaga G-14-C51, Melchor Ocampo G-14-C-52, Cedros G-14-C-61 y Concepción del Oro G-14-C-62, Escala 1:50,000.
- _____, 1973. Cartas de uso de suelo y vegetación: Sierra Zuloaga G-14-C51, Melchor Ocampo G-14-C-52, Cedros G-14-C-61 y Concepción del Oro G-14-C-62, Escala 1:50,000.
- _____, 1972a. Carta edafológica. Sierra Zuloaga G-14-C51, Escala 1:50,000
- _____, 1972b. Carta edafológica. Melchor Ocampo G-14-C-52, Escala 1:50,000
- _____, 1971. Carta edafológica. Cedros G-14-C-61, Escala 1:50,000, 1971.
- _____, 1975a. Carta edafológica. Concepción del Oro G-14-C-62, Escala 1:50,000
- _____, 1972c. Carta geológica. Sierra Zuloaga G-14-C51, Escala 1:50,000
- _____, 1972d. Carta geológica. Melchor Ocampo G-14-C-52, Escala 1:50,000
- _____, 1972e. Carta geológica. Cedros G-14-C-61, Escala 1:50,000
- _____, 1975b. Carta geológica. Concepción del Oro G-14-C-62, Escala 1:50,000
- _____, 2004, 2006. Información digital sobre las estadísticas de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. www.inegi.gob.mx
- Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1989. Carta de Viento dominante. Clima IV.4.2, Atlas Nacional de México, Escala 1:4,000,000
- _____, 1989. Carta de Energía del Viento Dominante. Clima IV.4.3, Atlas Nacional de México, Escala 1:4,000,000
- IUCN (The World Conservation Union), 2007. IUCN Red List of Threatened Species. <www.iucnredlist.org> Downloaded on 26 October 2007.
- _____, 2007. The World Conservation Union. www.iucn.org
- Jarvis C.E., 1979. Trade in cacti and other succulent plants in the United Kingdom. *Cact. Succ. J. Gr. Brit.* 41: 113-118.
- Joffre R. & S. Rambal. 1988. Soil water improvement by trees in rangelands in southern Spain. *Acta Oecologia Plantarum* 9: 40-42.
- Johnson D.E., 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. International Thompson Editores. México. 566 pp.
- Johnston M.C., 1974. Brief resume of botanical, including vegetational, features of the Chihuahuan Desert Region with special emphasis in the uniqueness. In: Wauer R.H. & 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, USA.
- Jordan W.P. & P.S. Nobel, 1981. Seedling establishment of *Ferocactus acanthodes* in relation to drought. *Ecology* 62: 901-906.
- Jury W.A. & B. Bellantuoni. 1976. Heat and water movement under surface rocks in a field soil: II Moisture effects. *Soil Sci. Society America J.* 40: 509-513.
- King J. E. and T. R. Van Devender. 1977. Pollen Analysis of Fossil Packrat Middens from the Sonoran Desert. *Quaternary Research* 8: 191-204.

- Leins P. & C. Erbar, 1994. Putative origin and relationships of the order from the viewpoint of developmental flower morphology. In: Behnke H.D. & T.J. Mabry. (Eds.), *Caryophyllales, evolution and systematics*. Berlin.
- Leuenberger B.E., 1986. *Pereskia* (Cactaceae). *Mem. New York Bot. Gard.* 41: 1-141.
- Marroquín J.S., 1974. A physiognomic Análisis of the Types of Transitional Vegetation in the eastern Parts of the Chihuahuan Desert in Coahuila, México. In: Wauer R.H. & D.H. Riskind (Eds.) *Transactions of the Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region*. United States and Mexico. US National Park Service USA P. 249-272.
- Martin P.S. and Mehringer, P.J., Jr. 1965. Pleistocene pollen analysis and biogeography of the Southwest. in Wright and Frey, *Quaternary of the United States*, Princeton Univ. Press.
- Martínez-Ávalos J.G. & E. Jurado., 2005. Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas, México. *Biodiversity and Conservation* 14: 2483-2506.
- Mauchamp, A. & Janeau, J.L., 1993. Water funneling by the crown of Chihuahuan Desert shrub. *J. Arid Environ.*, 25: 299–306.
- Mauseth J.D., 1990. Continental drift, climate and the evolution of cacti. *Cact. Succ. J. (Los Angeles)* 62: 301-308.
- _____, 2004. Cacti and other succulents: stem anatomy of “other succulents” has little in common with that of cacti. *Bradleya* 22: 131-140.
- McAuliffe J.R., 1994. Landscape evolution, soil formation and ecological patterns and processes in Sonoran Desert Bajadas. *Ecol. Monographs* 64(2): 111-148.
- McGarigal K., S. Crushman & S. Stafford, 2000. *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. Springer-Verlag, USA. 283 pp.
- Medellín-Leal F., 1982. The Chihuahuan Desert. In: Blenzer G.L. (Ed), *Reference Handbook on the Deserts of North America*. Greenwood Press, Westport, Conn., USA.
- Miranda F. y X.E. Hernández, 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- Mittermeier R.A. y Goettsch de M.C., 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: Sarukhán J y R. Dirzo (Eds.), *México ante los retos de la diversidad*. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad). México. P. 63-73.
- _____, N. Myers & J.B. Thomsen. 1998. Biodiversity hotspot and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology* 12: 516-520.
- Morafka D., 1977. A biogeographical analysis of the Chihuahuan Desert through its herpetofauna. *Biogeographica* 9: 1-313.
- Municipios, 1989. Atlas de los municipios de México. Estado de Zacatecas y Estado de Coahuila. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nobel P.S., 1989. Temperature, water availability and nutrient levels at various soil depths – consequences for shallow-rooted desert succulents, including nurse plant effects. *Am. J. Bot.* 76: 1486-1492.
- _____, (Ed.), 2002. *Cacti. Biology and uses*. University of California Press, Los Angeles, CA., USA.
- Noy-Meir I., 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 4: 25-51.
- Nulsen R.A., K.J. Bligh, I.N. Baxter, E.J. Solin & D.H. Imrie. 1986. The fate of rainfall in a mallee and heath vegetated catchment in southern western Australia. *Australian J. of Ecology* 11: 361-371.

- Oldfield S. (Compiler), 1997. Cactus and Succulent Plants. Status Survey and Conservation Action Plan. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK 213 pp.
- Parfitt B.D., 1985. Flowering of *Opuntia chaffeyi* Britton & Rose. *Cactus and Succulent Journal* 57: 52.
- Parker K.C., 1988. Growth rates of *Stenocereus thurberi* and *Lophocereus schottii* in Southern Arizona. *Bot. Gaz.* 149(3): 335-346.
- _____, 1991. Topography, substrate and vegetation patterns in the northern Sonoran Desert. *Journal of Biogeography* 18(2): 151-163.
- Parker L.W., H.G. Fowler, G. Ettershank & W.G. Whitford. 1982. The effects of subterranean termite removal on desert soil nitrogen and ephemeral flora. *J. Arid Environ.* 5: 53-59.
- Pérez-González S. 1999. Estudio etnobotánico, ecológico y de usos potenciales del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) como base para su domesticación y cultivo. Cuadernos de Trabajo. Area de Recursos Naturales. CONACYT Querétaro, México. 31 pp.
- Pin Koh L., R.R. Dunn, N.S. Sodhi, R.K. Colwell, H.C. Proctor & V.S. Smith, 2004. Species Coextinctions and the Biodiversity Crisis. *Science*. 305: 1632-1634.
- Pressey R., Humphries, C., Margules, C., Van-Wright R. & P. Williams, 1993. Beyond opportunism: key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 124-128.
- Pressland A.J. 1973. Rainfall partitioning by an arid woodland (*Acacia aneura* F. Muell.) In: south-western Queensland. *Australian J. of Botany* 21: 235-245.
- Primack R.B., 1993. Essentials of conservation biology. Sinauer Associates. Inc. Massachusetts, USA.
- Puente R. & C. Hamann. 2005. A new Hybrid Prickly Pear from Coahuila, Mexico. *Opuntia xcarstenii* sp. Nov. (Cactaceae). *Cactus and Succulent Journal* 77(5): 228-236.
- Rabinowitz D., 1981. Seven forms of rarity. In: Syngé H. (Ed.) The Biological Aspects of Rare Plant Conservation. John Wiley & Sons Ltd. P. 205-217.
- Robbins S. C., Ed. 2003. Prickly Trade: Trade and Conservation of Chihuahuan Desert Cacti, by Christopher S. Robbins and Rolando Tenoch Bárcenas Luna. TRAFFIC North America. Washington D.C.: World Wildlife Fund.
- Rodman J.E., M.K. Oliver, R.R. Nakamura, J.U. McClammer & A.H. Bledsoe, 1984. A taxonomic analysis and revised classification of Centrospermae. *Syst. Bot.* 9: 297-323.
- _____, 1990. Centrospermae revisited, part 1. *Taxon* 39: 383-393.
- _____, 1994. Cladistic and phenetic studies. In: Behnke H.D. & T.J. Mabry. (Eds.), Caryophyllales, evolution and systematics. Berlin.
- Ruedas M., M.T. Valverde y S. Castillo. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Bol. Soc. Bot. México* 66: 25-35.
- _____, 2003. Análisis de los factores que afectan la distribución y abundancia de tres especies de *Neobuxbaumia* (Cactaceae) en la Región de Tehuacan-Cuicatlán. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 107 pp.
- _____, Valverde T., J.A. Zavala-Hurtado. 2006. Análisis of the factors that affect the distribution and abundance of three *Neobuxbaumia* species (Cactaceae) that differ in their degree of rarity. *Acta Oecologica* 29 (2): 155-164.

- Rzedowski J., 1966. Vegetación del estado de San Luis Potosí. *Acta Científica Potosina* 5: 5-219.
- _____, 1993. Diversity and origin of the phanerogamic flora of Mexico. In: Ramamoorthy T.P., R. Bye & J. Fa (Eds.), *Biological diversity of Mexico*. Oxford University Press, New York, USA.
- Sánchez-Mejorada H., 1982. Mexico's problems and programmes monitoring trade in common and endangered cacti. *Cact. Succ. J. Gr. Brit.* 44: 36-38
- Saravia-Tamayo M. 2006. Patrones de diversidad de cactus en los Valles Calchaquíes (Salta, Argentina): implicaciones para su conservación. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. 97 pp.
- SARH (Secretaría de Recursos Hidráulicos), 1977. Documentación de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico. 12 – Uso Potencial del Suelo. Anexo A – Área Central del Estado de Zacatecas. México. 21 pp.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. Norma Oficial Mexicana NOM – 059 – ECOL – 2001, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Marzo 6, 2002.
- Schmidt R.H. Jr., 1979. A climatic delineation of the “real” Chihuahuan Desert. *J. of Arid Environ.* 2: 243-250.
- Shreve F., 1942. The Desert Vegetation of North America. *Botanical Review* 8: 195-246.
- SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), 1996a. Mapa de carreteras del estado de Zacatecas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- _____, 1996b. Mapa de carreteras del estado de Coahuila. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional), 2000 a 2002. Datos digitales en tiempo real de las sondas meteorológicas del Observatorio Meteorológico de la Bufa, Zacatecas. Servicio Meteorológico Nacional, México.
- _____, 2006. Base de datos climáticos de la República Mexicana. CLIMCON.
- _____, 1940-2005. Fichas meteorológicas originales de las estaciones: Camacho, Cedros, Coapas, Concepción de la Norma, C. del Oro, Mazapil, San Rafael, Viesca y Bajío Ahuichila Viesca. Estados de Zacatecas y Coahuila. Observatorio de Tacubaya, Servicio Meteorológico Nacional.
- _____, 1940-2005. Normales climatológicas de los Observatorios Meteorológicos de la Bufa, Zacatecas; Sombrerete, Zacatecas y Saltillo, Coahuila. Observatorio de Tacubaya, Servicio Meteorológico Nacional.
- Sisk T.D., A.E. Launer, K.R. Switky, P.R. Ehrlich & M.L. Imhoff, 1994. Identifying extinction threats. *Bioscience* 44(9): 592-604.
- Specht R.L. 1957. Dark island heath (Ninety Mile Plain, South Australia) IV. Soil moisture patterns produced by rainfall interception and stemflow. *Australian J. Botany* 5: 137-150.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos), 1953, 1969. Boletín Hidrológico No. 11 de la Dirección General de Hidrología. Región Hidrológica No. 36, Ríos Nazas y Aguanaval.
- Steenbergh W.F. & C.H. Lowe. 1969. Critical factors during the first years of life of the Saguaro (*Cereus giganteus*) at Saguaro National Monument, Arizona. *Ecology* 50(5): 825-834.
- Thorne R.F., 1992. An updated phylogenetic classification of the flowering plants. *Aliso* 13: 365-390.

- Tiedemann A.R. & J.O. Klemmenson. 1973. Nutrient availability in desert grassland soil under Mesquite (*Prosopis juliflora*) trees and adjacent open areas. *Proceedings of the Soil Science Society of America* 37: 107-111.
- Turner B.L., 1994. Chromosome numbers and their phyletic interpretations. In: Behnke H.D. & T.J. Mabry. (Eds.), *Caryophyllales, evolution and systematics*. Berlin.
- United Nations Environment Programme (UNEP, 2004, 2006) www.unep.org
- Universidad de California, 2005. Global climate data set. Zoology Museum, University of California at Berkeley. CA, USA www.worldclim.org
- Valiente-Banuet A. & E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *J. Ecol.* 79: 961-971.
- Van Devender T.R., 1986. Pleistocene climates and endemism in the Chihuahuan Desert Flora. In: Barlow J., A.M. Powell & B. Timmermann (Eds). *Chihuahuan Desert – US and Mexico II*, Chihuahuan Desert Research Institute, USA. P. 1-19.
- _____, 1990. Late quaternary vegetation and climate of the Chihuahuan Desert, United States and Mexico. In: Betancourt J., T. Van Devender & P. Martin (Eds). *Packrat middens. The last 40,000 years of biotic change*. The University of Arizona Press. Tucson, AZ, USA P. 104-133.
- Vane-Wright R.I., C.J. Humphries & P.H. Williams, 1991. What to protect? – Systematics and the Agony of Choice. *Biological Conservation* 55: 235-254.
- Virginia R.A. & W.M. Jarrell. 1983. Soil properties in a mesquite dominated Sonoran Desert ecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 138-144.
- Walker K.S. & H.J. Gillett (Eds), 1998. 1997 IUCN Red List of Threatened Plants. Gland and Cambridge: Compiled by the World Conservation Monitoring Center. IUCN – The World Union.
- Wallace R.S., 1995. Molecular systematic study of the Cactaceae: using chloroplast DNA variation to elucidate cactus phylogeny. *Bradleya* 13: 1-12.
- West N.E. & J.O. Klemmedson. 1978. Structural distribution of nitrogen in desert ecosystems. In: West N.E. & J.J. Skujins, (Eds.), *Nitrogen in Desert Ecosystems*, Dowdens (Hutchinson and Ross), Stroudsburg, PA. pp. 1-16.
- Western Silver Corporation, 2004. Annual report. www.westernsilvercorp.com
- Whitford W.G., Anderson J. & P.M. Rice. 1997. Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosotebush, *Larrea tridentata*. *J. of Arid Environ.* 35: 451-457.
- Williams P., Humphries C. & R. Vane-Wright, 1991. Measuring biodiversity: Taxonomic relatedness for conservation priorities. *Austral. Syst. Bot.* 4: 665-679.
- Zavala-Hurtado J.A., 1986. Introducción al enfoque multivariado en estudios de vegetación. Cuadernos de divulgación INIREB No 26. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz, México. 58 pp.
- Zinke P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. In: *Symposium on Forest Hydrology*. p. 137-161. New York, Pergamon Press.

Tabla i - Condensado de información de la matriz edafológica para las localidades del cuadro de estudio. La información mostrada se extrajo del conjunto de cartas geológicas y edafológicas impresas del INEGI. Se proporciona un breviarío de las características principales de los tipos de suelo registrados.

Localidad (No.)	altitud (msnm)	composición básica de la roca madre	Tipos de suelos	clase textural	clase topográfica	Fases	Localidad (No.)	altitud (msnm)	composición básica de la roca madre	Tipos de suelos	clase textural	clase topográfica	Fases
1	1961	al-lu	Xh-l	2	a	petrocálcica-gravosa	26	2070	cz-al	le-Jk-Zn	2	b	lítica-petrocálcica-n
2	1616	al	Zn	2	a	n	27	1691	cg-al	le	2	a	petrocálcica
3	1711	cg-al-lu-ar	le-Jk	2	a	petrocálcica-lítica	28	1750	cg-cz-lu	le	2	b	petrocálcica-lítica
4	1551	al	Jk-Xk	2	a	ls-n	29	1682	al	Xk-le	3	a	ls-petrocálcica
5	1751	cz-cg-al	le-Jk	2	b	lítica-petrocálcica	30	1654	al-lu-ar	Zn-Jk	2	a	n-petrocálcica
6	2423	lu-ar-igia	Xh-l	2	b	petrocálcica	31	1810	al	Jk-Zn	2	a	n-petrocálcica
7	1879	cg-lu-ar	le	2	b	petrocálcica-lítica	32	1682	al	Zn	2	a	n
8	1858	B-igei	le-Xk	2	c	lítica	33	1956	cz-lu-ar-pi-al	Xk-le	2	b	petrocálcica-lítica
9	1874	cg-al	Xk-le	2	a	ms-lítica	34	1800	al-cg	le	2	a	petrocálcica-lítica
10	1840	cz-cg	le-Jk	2	c	lítica-petrocálcica	35	1771	al-cg-cz	le	2	a	petrocálcica
11	1637	al	Xk	3	a	lítica	36	2580	cz-al	I-E	2	c	lítica
12	2165	cz-lu-ar	I-Rk	2	c	lítica	37	2079	cz-al	I-Xh	2	c	lítica
13	1793	cg-al	Jk-le	1	a	fs-petrocálcica	38	2080	cg-al	le-Jk	2	b	petrocálcica-lítica
14	1825	cz-cg	le	2	c	lítica-petrocálcica	39	1886	al	Xk	3	a	profundo
15	1817	al	le-Jk	1	a	lítica-petrocálcica	40	1700	cg-lu-ar-al	Jk-le	2	a	petrocálcica-gravosa
16	2781	cz-cg-al	I-Rk-Xh	2	c	lítica	41	1664	al	Jk	2	a	gravosa
17	2281	cz-lu-cg	I-Rk	2	c	lítica	42	1960	cz-lu-ar-al	le	2	c	petrocálcica
18	2250	cg-lu-ar	I-Xh	2	b	petrocálcica	43	1772	cz-al	le-Jk	2	b	lítica-gravosa
19	1934	al	Xk	3	a	ls	44	1710	cz-al	le	2	b	petrocálcica-lítica
20	1685	al	le-Jk	1	a	n-lítica	45	1640	al-cz	le-Jk	2	b	lítica-petrocálcica
21	1796	al	Xk	3	a	ls	46	1654	al	Jk	2	a	petrocálcica-ms-n
22	1762	cg-al	le-Rk	2	b	petrocálcica	47	2169	cz-lu-al	le-Jk	2	b	lítica-petrocálcica
23	2027	cz	le	2	c	lítica	48	1683	al-cz	le-Jk-Xk	2	a	lítica-petrocálcica
24	2110	lu-ar-cg	Jk-le	2	b	ls-lítica	49	1526	cz-al	le-Jk	2	c	lítica-petrocálcica
25	2070	cg-cz-al	le-Jk	2	b	petrocálcica-lítica	50	1780	cg-al	le-Jk	2	a	petrocálcica-lítica

Tipos de sustrato o roca madre

Rocas ígneas	
B	Basálo
igia	Intrusiva ácida
igei	Extrusiva intermedia
Rocas sedimentarias	
cg	Conglomerado
cz	Caliza
lu	Lutita
ar	Arenisca

Suelos de amplio desarrollo	
pi	Piamonte
al	Aluvial

Unidades de suelo

E	Rendzina
Jk	Fluvisol calcárico
I	litosol
le	Litosol éútrico
Rk	Regosol calcárico
Xh	Xerosol háplico
Xk	Xerosol cálcico
Zn	Solonchak háplico

Fases edáficas

lítica	El lecho rocoso se encuentra entre 25 y 50 cm de profundidad
petrocálcica	Horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad
gravosa	Fragmentos menores de 7.5 cm en la superficie o cerca de ella, que impiden el uso de maquinaria agrícola
Salina:	(según conductividad a 25° C, muestras de menos de 125 cm de profundidad)
Is	Suelos ligeramente salinos. Conductividad de 4 a 8 mmhos/cm
Ms	Suelos moderadamente salinos. Conductividad de 9 a 15 mmhos/cm
fs	Suelos fuertemente salinos. Conductividad de 16 o más mmhos/cm
Sódica:	n Suelos con más de 15% de saturación de sodio en alguna porción a menos de 125 cm de profundidad

Clases

texturales:

1	Textura gruesa
2	Textura media
3	Textura fina

Clases

topográficas:

a	Terreno plano a ligeramente ondulado - pendientes menores de 8%
b	De lomerío a terreno montañoso - pendientes entre 8 y 20%
c	De terreno con disección severa a terreno montañoso - pendientes mayores de 20%

Tabla i - Información adjunta

Algunas características específicas a los tipos de suelo de la región

Xerosol: suelo de color claro y pobre en materia orgánica con subsuelo rico en arcilla o carbonatos, con baja susceptibilidad a la erosión.

Regosol: no presenta capas distintas, es claro y se parece a la roca que le dio origen. Su susceptibilidad a la erosión depende de la disposición en el terreno y es muy variable.

Litosol: suelos sin desarrollo, con profundidad menor de 10 cm, características variables según el material madre. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona en la que se encuentre, y puede variar desde moderada a alta.

Rendzina: tiene una capa superficial rica en materia orgánica que descansa sobre roca caliza y algún material rico en cal. Se trata de un suelo arcilloso y moderadamente susceptible a la erosión (Municipios, 1989).

La caracterización edáfica de la región fue realizada con gran detalle por CETENAL, información cartográfica que posteriormente pasó al acervo del INEGI (ver citación de cartas relevantes). Adicionalmente la SARH (1977) realizó levantamientos de los tipos de suelos y publicó un estudio de su uso potencial y propiedades esenciales.

Tabla ii – Relación de localidades de muestreo. Se especifican: el número de localidad, la altitud (msnm), nombre, datos sobre la ubicación, riqueza encontrada y clima estimado mediante el modelo desarrollado.

1	1961 m	20 km W de la carretera Concepción del Oro-Salttillo, rumbo a Cedros	21	BS ₁ kk'(w)(e)
2	1616 m	Los Barriales del Vergel. A 17.5 km de Cedros, por el camino a Matamoros	18	BWhw(e)
3	1711 m	Lomas del Rancho de Renuevas: A 19.4 km de Cedros por Camino a Matamoros	17	BWhw(e)
4	1551 m	NO de Lomas de Renuevas, faldas del Carpintero: A 24.2 km de Cedros	15	BWhw(e)
5	1751 m	Al N de "El Trébol": Tomar terracería de Matamoros a Melchor Ocampo y doblar al N	22	BWkw(e)
6	2423 m	Ladera N de la Sierra "El Mascarón": pasando los Novillos tomar 1.2 km brecha S	18	Cx'(w ₁)b
7	1879 m	Colinas al NO de Sierra "El Mascarón": Tomar terracería al N de Cedros	19	BS ₀ hw(e)
8	1858 m	Mesas de Portezuelos: A 12.5 km al SE de Cedros, tomar terracería al S, luego E	16	BS ₀ hw(e)
9	1874 m	Lomas al N de Sabana Grande: A 21.5 km al SE de Cedros, tomar al S, luego al E	21	BS ₀ hw(e)
10	1840 m	2 km al N de Tecolotes: Tomar terracería de Cedros al Vergel y Ahuichila	21	BWkw(e)
11	1637 m	Cercanías a campos agrícolas del ejido "El Vergel": A 33 km de Cedros	13	BWkw(e)
12	2165 m	Ladera suroriental de la Sierra de Zuloaga: A 28 km de Concepción del Oro	22	BS ₁ kk'(w)(e)
13	1793 m	Lomeríos al O del Jaguey: A 47 km de Concepción del Oro rumbo a Cedros	16	BS ₀ hw(e)
14	1825 m	Cerros y llanos de Tanque Nuevo: por bordo de Cedros al Vergel, doblar al S	19	BWkw(e)
15	1817 m	Los Llanos: por bordo de Cedros al Vergel, doblar al S en km 7 y recorrer 5 km	12	BS ₀ hw(e)
16	2781 m	Tierra blanca (cerros): 7 km al E de Mazapil rumbo a Concepción del Oro	10	C(m)(f)b(e)
17	2281 m	Peña del Águila: 5 km al S de Mazapil por brecha hacia la Peña	9	Cx'(w ₁)b
18	2250 m	Cuesta de los Gatos: 18 km al E de Cedros, rumbo a Mazapil	12	Cx'(w ₁)b
19	1934 m	Llanos pasando minas del Peñasco: 10 km al E de Cedros rumbo a Mazapil	10	BS ₀ kw(e)
20	1685 m	Los Llanos hacia el Vergel: 10 km al O de Cedros rumbo al Vergel y los Tecolotes	8	BWhw(e)
21	1796 m	Llanos y loma del S, ejido Cedros: 8 km al SO de Cedros rumbo a Mazapil	9	BWhw(e)
22	1762 m	Ladera Nororiental de la Sierra Zuloaga: 33 km al N de C. Oro por carretera a Ocampo	16	BWkw(e)
23	2027 m	Cerros de Pachango: A 3 km de San Pedro doblar hacia Pachango y pasar el poblado	16	BS ₀ kw(e)
24	2110 m	Lomas al O de M. Ocampo: 6 km al O de M. Ocampo rumbo al Trébol, brecha al N	12	BS ₁ kk'(w)(e)
25	2070 m	Llanos y lomas al N de Sierra Zuloaga: 11 km al O de M. Ocampo rumbo al Trébol	17	BS ₁ kw(e)
26	2070 m	Cerros y lomas rumbo al Trébol: 19 km al O de M. Ocampo rumbo al Trébol	20	BS ₁ kw(e)
27	1691 m	Llanos al NE de Cedros: 9 km al N de Cedros rumbo al Jaguey, desviar 4 km al N	13	BWhw(e)
28	1750 m	Lomas al N de Cedros: 5 km al N de Cedros rumbo al Jaguey	12	BWhw(e)
29	1682 m	Llanos al S del Vergel: 16 km al O de Cedros rumbo a Tecolotes y Ahuichila	12	BWhw(e)
30	1654 m	Llanos al E de Matamoros	13	BWhw(e)
31	1810 m	Llanos al NE del Cerro del Carpintero: 15 km al E de Matamoros rumbo a M. Ocampo	7	BWkw(e)
32	1682 m	Llanos al SE del Rancho de Renuevas: 9 km al NO de Cedros por bordo a Matamoros	10	BWhw(e)
33	1956 m	Cerros al S de la Sierra del Toro: 18 km al S de Tecolotes por brecha	20	BS ₀ kw(e)
34	1800 m	Llanos con Izotales al S de Tecolotes: 9 km al S de Tecolotes por brecha	8	BWkw(e)
35	1771 m	Lomas y llanos al S de Tecolotes: 4 km al S de Tecolotes por brecha a Candelaria	15	BWkw(e)
36	2580 m	Ladera S de la Peña del Águila	16	C(m)(f)b(e)
37	2079 m	Lomas y cerros al SE de Mejorada: 7 km al SE de Mejorada, 2 km por bordo	13	BS ₁ kw(e)
38	2080 m	Llanos y lomas al NE de Sabana Grande: 20 km al SE de Cedros por brecha	16	BS ₀ kw(e)
39	1886 m	Llanos al SE de S.A. Portezuelos: 21 km al SE de Cedros por brecha a Portezuelos	10	BS ₀ hw(e)
40	1700 m	Llanos al NE de Jalapa: virar al N en el km 5 de Jalapa a Jazminal por brechas	16	BWhw(e)
41	1664 m	Llanos al S de Jalapa: 7 km al N de carretera a M. Ocampo, por brecha a Jalapa	16	BWkw(e)
42	1960 m	Lomas y cerro al NO de San Jerónimo: A 3.5 km al O de San Jerónimo, cerros	16	BS ₀ kw(e)
43	1772 m	Lomas al N del km 10 en el camino de Jalapa a las ánimas	21	BWkw(e)
44	1710 m	Llanos y lomas al O del Rancho La Herradura: 13 km de Jalapa rumbo a Sabanillas	20	BWhw(e)
45	1640 m	Llanos y lomas 3 km al SE de Palos Altos por brecha entre Sabanillas y Jalapa	20	BWhw(e)
46	1654 m	Llanos 6 km al E de la Cruz: tome desviación al Trébol y luego hacia Palos Altos	14	BWhw(e)
47	2169 m	Lomas y cerros 5 km al NO de Las ánimas	16	BS ₀ kw(e)
48	1683 m	Llanos y cerros al SE del Rancho Los Conejos: 7 km al O de La Cruz	16	BWhw(e)
49	1526 m	Llanos y loma al SE de Los Tajos: A 6 km de Matamoros rumbo a Los Tajos	19	BWhw(e)
50	1780 m	Lomas y cerros al SE del Cerro del Carpintero: Aprox. 20 km de Cedros por bordo	16	BWhw(e)

Tabla iii - Síntesis de la matriz climática elaborada mediante el modelo climático (Sección 3.3.3) en donde se muestran las normales climáticas estimadas para las diversas localidades del cuadro de estudio y se señalan los gradientes utilizados para objeto de cálculo.

Localidad (No.)	Altitud (msnm)	Gradiente correspondiente	Altitud base (Estaciones) (msnm)	Inverso de la diferencia altitudinal	Cociente P/T'	tmedia local (°C)	tmax local (°C)	tmax ext local (°C)	tmin local (°C)	tmin ext local (°C)
1	1961	C. del Oro	2070	109	23.59	17.0	24.4	28.9	9.8	5.1
2	1616	Cedros	1820	204	16.42	20.0	29.6	34.4	10.6	6.0
3	1711	Cedros	1820	109	17.01	19.3	28.5	33.3	10.2	5.6
4	1551	Camacho	1665	114	15.01	18.5	27.8	32.7	9.1	4.1
5	1751	San Rafael	1706	-45	16.67	17.1	24.4	29.9	9.6	5.0
6	2423	Mazapil	2250	-173	31.27	15.2	23.4	28.6	6.4	1.9
7	1879	Cedros	1820	-59	18.17	18.1	26.7	31.4	9.5	4.9
8	1858	Cedros	1820	-38	18.02	18.2	26.9	31.7	9.6	5.0
9	1874	Cedros	1820	-54	18.13	18.1	26.7	31.5	9.5	4.9
10	1840	San Rafael	1706	-134	16.91	16.8	24.0	29.5	9.4	4.7
11	1637	San Rafael	1706	69	16.37	17.4	24.9	30.5	9.8	5.4
12	2165	C. del Oro	2070	-95	24.90	16.2	22.9	27.0	9.0	4.4
13	1793	Coapas	2050	257	21.79	18.1	27.5	31.6	8.7	4.4
14	1825	C de la Norma	2000	175	18.48	17.6	25.6	30.1	9.8	4.5
15	1817	Cedros	1820	3	17.72	18.5	27.4	32.1	9.8	5.2
16	2781	Mazapil	2250	-531	35.27	13.5	20.8	26.1	4.7	0.1
17	2281	Mazapil	2250	-31	29.93	15.9	24.4	29.5	7.1	2.5
18	2250	Mazapil	2250	0	29.65	16.1	24.6	29.8	7.3	2.7
19	1934	Cedros	1820	-114	18.58	17.7	26.1	30.8	9.3	4.7
20	1685	Cedros	1820	135	16.84	19.5	28.8	33.6	10.3	5.7
21	1796	Cedros	1820	24	17.58	18.7	27.6	32.4	9.9	5.3
22	1762	San Rafael	1706	-56	16.70	17.1	24.4	29.9	9.5	5.0
23	2027	C de la Norma	2000	-27	19.64	16.6	23.9	28.2	9.3	4.0
24	2110	Mazapil	2250	140	28.46	16.7	25.6	30.7	7.9	3.4
25	2070	Coapas	2050	-20	23.33	16.9	26.0	30.2	7.6	3.4
26	2070	Coapas	2050	-20	23.33	16.9	26.0	30.2	7.6	3.4
27	1691	Cedros	1820	129	16.88	19.5	28.8	33.5	10.3	5.7
28	1750	Cedros	1820	70	17.27	19.0	28.1	32.9	10.1	5.5
29	1682	Cedros	1820	138	16.82	19.5	28.9	33.6	10.4	5.8
30	1654	Camacho	1665	11	15.36	18.1	27.2	32.0	8.9	3.9
31	1810	San Rafael	1706	-104	16.83	16.9	24.2	29.6	9.4	4.8
32	1682	Cedros	1820	138	16.82	19.5	28.9	33.6	10.4	5.8
33	1956	C de la Norma	2000	44	19.22	17.0	24.5	28.9	9.5	4.1
34	1800	C de la Norma	2000	200	18.35	17.8	25.8	30.3	9.8	4.5
35	1771	San Rafael	1706	-65	16.72	17.0	24.3	29.8	9.5	4.9
36	2580	Mazapil	2250	-330	32.91	14.5	22.2	27.5	5.7	1.1
37	2079	Coapas	2050	-29	23.39	16.8	26.0	30.2	7.5	3.4
38	2080	Cedros	1820	-260	19.78	16.6	24.5	29.2	8.7	4.0
39	1886	Cedros	1820	-66	18.22	18.0	26.6	31.4	9.5	4.9
40	1700	Cedros	1820	120	16.94	19.4	28.7	33.4	10.3	5.7
41	1664	San Rafael	1706	42	16.44	17.3	24.8	30.3	9.8	5.3
42	1960	Coapas	2050	90	22.69	17.4	26.6	30.8	8.0	3.8
43	1772	San Rafael	1706	-66	16.73	17.0	24.3	29.8	9.5	4.9
44	1710	Cedros	1820	110	17.00	19.3	28.5	33.3	10.2	5.6
45	1640	Cedros	1820	180	16.56	19.8	29.3	34.1	10.5	5.9
46	1654	Cedros	1820	166	16.65	19.7	29.2	33.9	10.5	5.9
47	2169	C de la Norma	2000	-169	20.56	15.9	22.8	26.9	9.0	3.6
48	1683	Cedros	1820	137	16.83	19.5	28.8	33.6	10.4	5.8
49	1526	Camacho	1665	139	14.93	18.6	27.9	32.8	9.2	4.2
50	1780	Cedros	1820	40	17.47	18.8	27.8	32.5	9.9	5.3

Tabla iii - Síntesis de la matriz climática (Segunda parte)

* Estimado generado a partir de las normales, en realidad decrece aún más al subir la altitud.

Localidad (No.)	oscilación t media local (°C)	oscilación t máxima local (°C)	No. meses con helada locales	No. días con helada locales	Evaporación* total anual local (mm)	Precipitación total anual local (mm)	No. días con granizo locales	No. días con niebla locales	No. días con tormenta locales	No. días con prec. apreciable	Tipo de clima estimado
1	14.6	23.8	0.8	12.6	1,944.9	390.9	2.1	19.3	11.2	57.4	BS ₁ kx'(w)(e)
2	18.9	28.3	0.6	8.6	2,050.6	304.1	0.0	3.0	0.9	39.6	BWhw(e)
3	18.3	27.7	0.6	8.9	1,979.1	315.0	0.0	3.1	1.0	41.0	BWhw(e)
4	18.6	28.5	1.3	19.2	2,094.8	271.3	1.2	0.5	3.8	41.9	BWhw(e)
5	14.9	24.9	0.7	10.5	1,786.2	286.9	0.1	6.1	3.7	40.8	BWkw(e)
6	16.9	26.7	1.5	22.2	1,897.2	502.1	1.4	5.8	2.0	80.3	Cx'(w ₁)b
7	17.2	26.5	0.6	9.5	1,852.8	336.5	0.0	3.3	1.0	43.8	BS ₀ hw(e)
8	17.3	26.7	0.6	9.4	1,868.6	333.7	0.0	3.3	1.0	43.5	BS ₀ hw(e)
9	17.2	26.6	0.6	9.5	1,856.6	335.8	0.0	3.3	1.0	43.8	BS ₀ hw(e)
10	14.7	24.8	0.7	10.6	1,760.4	291.1	0.1	6.2	3.7	41.4	BWkw(e)
11	15.1	25.1	0.7	10.3	1,819.2	281.7	0.1	6.0	3.6	40.1	BWkw(e)
12	13.9	22.7	0.9	13.3	1,842.7	412.6	2.2	20.3	11.8	60.6	BS ₁ kx'(w)(e)
13	18.8	27.2	1.3	19.0	1,812.4	369.6	0.1	2.0	0.8	47.1	BS ₀ hw(e)
14	15.8	25.6	1.3	20.5	1,951.4	309.2	1.3	9.3	46.0	38.6	BWkw(e)
15	17.6	27.0	0.6	9.3	1,899.4	328.3	0.0	3.3	1.0	42.8	BS ₀ hw(e)
16	16.1	26.0	1.6	25.0	1,682.5	566.2	1.6	6.5	2.3	90.6	C(m)(f)b(e)
17	17.3	27.0	1.4	21.3	1,982.4	480.5	1.4	5.5	1.9	76.9	Cx'(w ₁)b
18	17.3	27.1	1.4	21.1	2,001.0	476.1	1.3	5.5	1.9	76.2	Cx'(w ₁)b
19	16.8	26.2	0.6	9.7	1,811.5	344.2	0.0	3.4	1.0	44.8	BS ₀ kw(e)
20	18.5	27.8	0.6	8.8	1,998.7	312.0	0.0	3.1	0.9	40.6	BWhw(e)
21	17.7	27.1	0.6	9.2	1,915.2	325.6	0.0	3.2	1.0	42.4	BWhw(e)
22	14.8	24.9	0.7	10.5	1,783.0	287.4	0.1	6.1	3.7	40.9	BWkw(e)
23	14.7	24.2	1.4	21.8	1,835.7	328.7	1.4	9.8	49.0	41.0	BS ₀ kw(e)
24	17.7	27.4	1.3	20.2	2,085.0	456.9	1.3	5.2	1.8	73.1	BS ₁ kx'(w)(e)
25	18.4	26.8	1.3	20.4	1,692.6	395.8	0.1	2.1	0.8	50.4	BS ₁ kw(e)
26	18.4	26.8	1.3	20.4	1,692.6	395.8	0.1	2.1	0.8	50.4	BS ₁ kw(e)
27	18.4	27.8	0.6	8.8	1,994.2	312.7	0.0	3.1	1.0	40.7	BWhw(e)
28	18.0	27.4	0.6	9.0	1,949.8	319.8	0.0	3.2	1.0	41.7	BWhw(e)
29	18.5	27.9	0.6	8.8	2,000.9	311.6	0.0	3.1	0.9	40.6	BWhw(e)
30	18.3	28.1	1.3	19.6	2,046.9	277.7	1.3	0.6	3.9	42.9	BWhw(e)
31	14.7	24.8	0.7	10.6	1,769.1	289.6	0.1	6.1	3.7	41.2	BWkw(e)
32	18.5	27.9	0.6	8.8	2,000.9	311.6	0.0	3.1	0.9	40.6	BWhw(e)
33	15.1	24.7	1.4	21.3	1,876.3	321.6	1.3	9.6	47.9	40.1	BS ₀ kw(e)
34	16.0	25.8	1.3	20.4	1,965.7	307.0	1.3	9.2	45.7	38.3	BWkw(e)
35	14.8	24.9	0.7	10.5	1,780.4	287.8	0.1	6.1	3.7	41.0	BWkw(e)
36	16.6	26.4	1.5	23.4	1,803.0	528.4	1.5	6.1	2.1	84.5	C(m)(f)b(e)
37	18.4	26.8	1.3	20.4	1,688.7	396.7	0.1	2.1	0.8	50.5	BS ₁ kw(e)
38	15.8	25.2	0.7	10.4	1,701.7	366.4	0.0	3.6	1.1	47.7	BS ₀ kw(e)
39	17.1	26.5	0.6	9.5	1,847.6	337.5	0.0	3.4	1.0	44.0	BS ₀ hw(e)
40	18.4	27.7	0.6	8.9	1,987.4	313.7	0.0	3.1	1.0	40.9	BWhw(e)
41	15.0	25.0	0.7	10.3	1,811.4	282.9	0.1	6.0	3.6	40.3	BWkw(e)
42	18.6	27.0	1.3	19.8	1,740.2	385.0	0.1	2.1	0.8	49.0	BS ₀ kw(e)
43	14.8	24.9	0.7	10.5	1,780.1	287.8	0.1	6.1	3.7	41.0	BWkw(e)
44	18.3	27.7	0.6	8.9	1,979.9	314.9	0.0	3.1	1.0	41.0	BWhw(e)
45	18.8	28.1	0.6	8.7	2,032.5	306.8	0.0	3.1	0.9	40.0	BWhw(e)
46	18.7	28.1	0.6	8.7	2,022.0	308.4	0.0	3.1	0.9	40.2	BWhw(e)
47	13.8	23.3	1.5	22.8	1,754.3	344.0	1.4	10.3	51.2	42.9	BS ₀ kw(e)
48	18.5	27.9	0.6	8.8	2,000.2	311.7	0.0	3.1	0.9	40.6	BWhw(e)
49	18.7	28.6	1.3	19.1	2,106.4	269.8	1.2	0.5	3.8	41.7	BWhw(e)
50	17.8	27.2	0.6	9.1	1,927.3	323.5	0.0	3.2	1.0	42.1	BWhw(e)

Tabla iv - Síntesis de la matriz de ocurrencia de cactáceas en el área de estudio (Información por subcuadros) de acuerdo a la distribución espacial encontrada. Se muestra la incidencia de endemismos a nivel regional para el Desierto Chihuahuense y a nivel estatal, así como la presencia de nuevos registros para el grupo de acuerdo a la Base de Datos de Colecciones de Cactáceas de Centro y Norte América.

(**Nuevos registros:** Z- Zacatecas, C- Coahuila, CZ- cuadro Zacatecas, CC- cuadro Coahuila, A-ambos estados; **Presencias / no. de casos** para: PL- localidades y PS- subcuadros; **Frecuencias relativas (%)** para: FL- localidades y FS- subcuadros; **Endemismo:** ER- Endemismo regional: CD- subregión principal, M- subregión meridional, CD+M, las dos anteriores y NE- no endémica; EZ- endémicos al estado de Zacatecas; EC- endémicos al estado de Coahuila)

Especies	No. de Subcuadro																																				
	Z	CZ	C	CC	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	PL	PS	FL	FS	ER	EZ	EC
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> (Lem.) K. Schum.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	8	CD+M	NE	NE
<i>A. retusus</i> Scheidw.*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	8	7	16	28	CD	NE	NE
<i>Coryphantha compacta</i> (Engelm.) Britton & Rose**	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	9	7	18	28	-	E?	NE
<i>C. delicata</i> L. Bremer*	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	23	17	46	68	-	NE	NE	
<i>C. macromeris</i> (Engelm.) Lem.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3	3	6	12	CD	NE	NE	
<i>C. poseelgeriana</i> (A. Dietr.) Britton & Rose	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	12	20	CD	NE	NE	
<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	47	25	94	100	NE	NE	NE	
<i>C. kleiniae</i> (D.C.) F. M. Knuth*	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	30	19	60	76	NE	NE	NE		
<i>C. leptocaulis</i> (D.C.) F. M. Knuth	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	35	21	70	84	NE	NE	NE		
<i>C. tunicata</i> (Lehm.) F.M. Knuth*	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25	18	50	72	NE	NE	NE		
<i>C. aff. davisii</i> (Engelmann & J.M. Bigelow) F.M. Knuth	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	8	CD	-	E?		
<i>Echinocactus horizonthalonius</i> Lem.	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	36	22	72	88	NE	NE	NE		
<i>E. platyacanthus</i> Link & Otto	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33	21	66	84	NE	NE	NE		
<i>Echinocereus enneacanthus</i> Engelm.	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	39	22	78	88	CD	NE	NE		
<i>E. palmeri</i> Britton & Rose ssp. <i>mazapili</i> H.M. Hern. & C. Gómez-Hinost.	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	1	2	4	CD	ssp E	-			
<i>E. parkeri</i> N.P. Taylor ssp. <i>mazapiliensis</i> Blum & Lange	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	2	4	8	CD	E	-		
<i>E. pectinatus</i> (Scheidw.) Engelm.	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	22	18	44	72	NE	NE	NE		
<i>E. stramineus</i> (Engelm.) F. Seitz	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10	8	20	32	CD	NE	NE		
<i>Echinomastus unguispinus</i> (Engelmann) Britton & Rose	1	1	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	1	1	2	4	4	-	NE	NE		
<i>Escobaria lloydii</i> Britton & Rose	0	1	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	1	1	2	4	CD	E	-		
<i>Ferocactus hamatacanthus</i> (Muehlenpf.) Britton & Rose	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	40	22	80	88	CD	NE	NE		
<i>F. pilosus</i> (Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm.	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31	21	62	84	CD	NE	NE		
<i>Grusonia moelleri</i> (A. Berger) E. F. Anderson**	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	26	19	52	76	CD	NE	NE		
<i>Leuchtenbergia principis</i> Hook.*	0	1	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	1	1	2	4	4	CD	NE	NE	
<i>Lophophora williamsii</i> (Lem. ex Salm-Dyck) J.M. Coult.	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	19	16	38	64	CD	NE	NE		
<i>Mammillaria formosa</i> Galeotti ex Scheidw.*	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	12	7	24	28	CD	NE	NE		
<i>M. heyderi</i> Muehlenpf.	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	38	23	76	92	NE	NE	NE		
<i>M. lasiantha</i> Engelm.*	1	1	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	1	1	2	4	4	NE	NE	NE	
<i>M. pottsii</i> Scheer ex Salm-Dyck*	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	20	14	40	56	CD	NE	NE		
<i>Neolloydia conoidea</i> (DC.) Britton & Rose*	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	29	18	58	72	CD+M	NE	NE		
<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck*	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	24	18	48	72	NE	NE	NE		
<i>O. leucotricha</i> DC.*	0	1	0	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	4	4	8	16	NE	NE	NE		
<i>O. macrocentra</i> Engelm.*	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	8	16	NE	NE	NE		
<i>O. microdasys</i> (Lehm.) Pfeiffer*	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	16	12	32	48	CD+M	NE	NE		
<i>O. phaeacantha</i> Engelm.*	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	11	10	22	40	NE	NE	NE		
<i>O. rastrera</i> F.A.C. Weber	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	44	24	88	96	CD+M	NE	NE		
<i>O. rufida</i> Engelm.	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	34	21	68	84	CD	NE	NE		
<i>O. stenopetala</i> Engelm.*	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	22	17	44	68	CD+M	NE	NE		
<i>O. xcarstenii</i> Puente & Hamann	1	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	1	2	2	4	8	CD	NE?	NE?		
<i>Peniocereus greggii</i> (Engelm.) Britton & Rose	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	0	0	1	1	2	4	4	NE	NE	NE	
<i>Sclerocactus uncinatus</i> (Galeotti) N.P. Taylor*	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	27	19	54	76	NE	NE	NE		
<i>Stenocactus multicosatus</i> (Hildm. ex K. Schum.) A. Berger*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	8	6	16	24	NE	NE	NE			
<i>Thelocactus bicolor</i> (Galeotti ex Pfeiff.) Britton & Rose	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8	18	32	CD	NE	NE		
<i>T. hexaedrophorus</i> (Lem.) Britton & Rose*	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	8	16	CD	NE	NE		
<i>Turbincarpus beguinii</i> (N.P. Taylor) Mosco & Zanovello*	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	8	CD	NE	NE		
		7	23	2	17	3	22	23	23	26	18	16	25	21	19	20	18	18	25	25	22	15	21	18	13	16	25	25	19	20							
Nuevos registros según Guzmán et al. (2003):																																					
* nuevo registro regional ** nuevo registro estatal																																					
nuevos registros																																					
riqueza por subcuadro																																					

45 especies 764 registros

Tabla v – Normales climatológicas de las estaciones meteorológicas empleadas en la evaluación climática regional. La ubicación puede variar ligeramente, por lo que se reportan las coordenadas y elevaciones aceptadas en el desarrollo del modelo climático expuesto.

Estación Meteorológica	Unidad	Años con datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Normales MEDIAS ANUALES	Normales máxima media	Normales mínima media	Normales máxima extrema	Normales mínima extrema
Camacho, Mazapil																			
24° 29' N, 102° 21' O, 1665 msnm / SMN y fluv SRH																			
tmax	° C	41	21.8	23.6	26.3	29.3	31.6	31.5	30.4	30.2	28.6	27.5	24.8	21.4	27.1	31.6	21.4	36.9	17.4
tmax ext	° C	41	28.0	28.7	31.9	33.9	36.1	35.4	34.0	33.8	32.6	32.4	29.4	27.5	31.9	36.1	27.5	39.0	21.0
tmin	° C	41	2.9	4.4	6.5	9.3	11.9	13.3	13.5	13.2	12.2	9.8	6.1	3.5	8.8	13.5	2.9	20.1	-2.0
tmin ext	° C	41	-3.5	-1.3	0.6	4.1	7.6	9.4	9.8	9.8	8.5	4.5	0.0	-3.0	3.9	9.8	-3.5	15.0	-9.0
tmedia	° C	39	12.3	14.1	16.6	19.4	21.8	22.5	21.9	21.9	20.4	18.7	15.5	12.5	18.1	22.5	12.3	27.3	9.2
ptot	mm	62	9.1	7.1	3.2	7.1	16.2	42.0	51.8	51.4	42.4	27.5	8.1	12.4	278.4	51.8	3.2	239.0	0.0
granizo	días	62	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	1.3	0.2	0.0	7.0	0.0
niebla	días	62	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.6	0.1	0.0	2.0	0.0
tormenta	días	62	0.0	0.1	0.0	0.3	0.5	0.9	0.7	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	3.9	0.9	0.0	18.0	0.0
aprec	días	13	3.1	1.1	0.6	1.7	2.9	4.7	7.9	7.2	5.3	4.2	1.6	2.6	43.0	7.9	0.6	16.0	0.0
Cedros, Mazapil																			
24° 41' N, 101° 47' O, 1820 msnm / SMN y fluv SRH																			
tmax	° C	34	22.0	23.3	26.4	29.7	31.1	31.4	30.4	29.9	28.7	27.7	25.4	22.5	27.3	31.4	22.0	36.1	14.4
tmax ext	° C	34	27.5	28.9	32.2	34.4	36.0	35.7	34.3	33.6	33.0	32.1	30.2	27.9	32.1	36.0	27.5	45.0	21.0
tmin	° C	34	5.2	5.6	7.8	10.2	12.7	13.9	13.7	13.0	12.3	10.2	7.3	5.2	9.8	13.9	5.2	18.4	0.5
tmin ext	° C	34	-0.2	-0.2	2.7	5.1	8.0	10.3	10.7	10.4	8.5	6.2	2.3	-1.3	5.2	10.7	-1.3	16.0	-9.0
tmedia	° C	34	13.6	14.5	16.9	20.0	21.9	22.7	22.1	21.5	20.5	18.7	16.4	13.9	18.5	22.7	13.6	25.7	10.0
evapo	mm	30	117.7	128.0	180.6	220.8	227.1	210.9	185.4	168.0	154.4	140.3	121.4	111.1	1,694.4	227.1	111.1	323.7	34.8
ptot	mm	41	15.0	6.9	5.8	18.2	24.0	52.8	63.3	51.9	56.4	23.7	14.6	16.7	343.6	63.3	5.8	216.7	0.0
granizo	días	34	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	0.0
niebla	días	34	0.4	0.3	0.2	0.4	0.5	0.4	0.0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.5	3.3	0.5	0.0	14.0	0.0
tormenta	días	34	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	0.0	6.0	0.0
aprec	días	28	2.7	1.0	0.9	1.8	2.7	5.7	8.1	7.0	7.3	2.9	1.7	2.7	42.8	8.1	0.9	16.0	0.0
Coapas, Mazapil																			
24° 47' N, 102° 09' O, 2050 msnm / SMN																			
tmax	° C	35	20.3	21.8	24.2	27.8	30.3	30.6	29.6	28.9	27.8	26.4	24.2	21.2	26.1	30.6	20.3	35.7	15.1
tmax ext	° C	35	25.5	27.1	29.2	32.4	34.0	34.1	33.1	31.8	31.9	30.3	28.2	25.9	30.3	34.1	25.5	40.5	20.0
tmin	° C	35	2.3	3.4	5.3	7.7	10.0	11.4	12.0	11.8	11.1	8.4	4.7	3.0	7.7	12.0	2.3	16.0	-2.2
tmin ext	° C	35	-2.8	-1.5	0.4	2.8	6.2	8.1	9.0	8.9	7.2	3.8	-0.2	-2.8	3.5	9.0	-2.8	13.0	-12.0
tmedia	° C	35	11.4	13.0	14.9	17.7	20.1	21.0	20.8	20.4	19.4	17.4	14.5	12.1	17.0	21.0	11.4	24.6	7.8
evapo	mm	35	110.8	117.8	170.4	179.9	195.7	185.8	167.4	153.3	142.1	138.6	120.7	111.6	1,744.4	195.7	110.8	290.3	15.0
ptot	mm	36	20.3	10.2	5.4	10.6	26.4	55.2	73.4	61.8	66.4	37.0	15.3	15.7	393.8	73.4	5.4	278.5	0.0
granizo	días	36	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	1.0	0.0
niebla	días	36	0.3	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	2.1	0.3	0.0	9.0	0.0
tormenta	días	36	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.8	0.2	0.0	4.0	0.0
aprec	días	28	3.3	1.3	1.1	1.3	3.5	6.0	8.8	8.1	8.6	4.0	1.7	3.0	50.2	8.8	1.1	19.0	0.0

Concepción de la Norma

24° 32' N, 101° 58' O, 2000 msnm / SMN

tmax	° C	17	20.5	22.3	23.4	25.8	27.3	27.0	26.5	26.4	25.7	25.2	23.6	20.8	24.2	27.3	20.5	33.0	16.6
tmax ext	° C	17	26.2	27.1	29.0	30.6	31.2	30.8	30.1	29.9	29.0	29.6	27.4	26.1	28.4	31.2	26.1	37.5	18.0
tmin	° C	17	4.6	5.9	6.9	8.7	11.6	13.0	12.6	13.0	11.9	9.6	7.6	5.7	9.4	13.0	4.6	17.4	1.3
tmin ext	° C	17	-3.4	-2.0	0.0	2.2	8.0	10.1	10.4	10.8	7.1	4.7	0.5	-3.1	4.0	10.8	-3.4	16.0	-9.0
tmedia	° C	17	12.5	14.1	15.1	17.2	19.5	20.0	19.5	19.7	18.8	17.4	15.4	13.2	16.7	20.0	12.5	24.0	9.9
ptot	mm	62	10.4	7.0	2.7	8.2	21.7	42.0	52.7	75.7	57.9	30.7	9.1	10.1	326.0	75.7	2.7	249.1	0.0
granizo	días	62	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	1.3	0.3	0.0	6.0	0.0
niebla	días	62	1.2	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.9	1.7	0.8	1.0	9.8	1.7	0.4	20.0	0.0
tormenta	días	62	1.1	1.2	0.9	3.0	4.5	5.7	8.6	9.5	6.8	4.5	2.2	1.0	48.5	9.5	0.9	31.0	0.0
aprec	días	55	1.8	1.2	0.6	1.5	2.8	5.4	6.5	7.6	6.0	4.0	1.6	2.0	40.7	7.6	0.6	16.0	0.0

Concepción del Oro

24° 37' N, 101° 24' O, 2070 msnm / SMN y fluv-term-evapo-obs SRH

tmax	° C	40	17.7	19.8	22.6	26.0	27.9	28.4	27.4	27.0	25.8	23.6	21.6	18.7	23.6	28.4	17.7	32.9	8.3
tmax ext	° C	40	22.7	24.6	27.2	30.5	32.6	32.5	30.7	30.1	29.3	27.8	25.9	24.7	27.9	32.6	22.7	39.5	11.7
tmin	° C	40	3.9	5.1	7.3	10.6	12.6	14.1	13.9	13.5	12.4	9.6	6.7	4.9	9.4	14.1	3.9	18.4	0.7
tmin ext	° C	40	-1.8	-0.2	1.8	5.0	8.4	10.7	10.8	10.7	8.1	4.4	0.9	-1.1	4.7	10.8	-1.8	14.0	-11.0
tmedia	° C	43	11.0	12.9	15.1	18.3	20.3	21.2	20.6	20.3	19.0	16.5	14.2	11.8	16.6	21.2	11.0	23.8	5.4
evapo	mm	43	105.4	123.7	185.1	210.0	230.0	210.8	207.3	192.4	162.8	140.5	118.1	99.2	1,791.1	230.0	99.2	332.5	44.7
ptot	mm	43	30.4	12.6	12.8	26.8	31.3	56.3	77.6	62.3	57.4	35.4	16.6	25.5	440.0	77.6	12.6	241.5	0.0
granizo	días	40	0.2	0.1	0.2	0.3	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	2.1	0.6	0.0	8.0	0.0
niebla	días	40	3.0	1.9	0.6	0.8	1.3	1.8	2.3	1.3	1.8	2.1	2.3	2.9	19.8	3.0	0.6	21.0	0.0
tormenta	días	40	1.0	0.7	0.3	1.1	1.1	1.3	1.1	1.0	1.3	1.1	1.2	1.7	11.5	1.7	0.3	16.0	0.0
aprec	días	35	4.1	2.4	2.1	3.7	6.2	7.9	10.1	8.8	8.9	5.5	2.8	4.3	59.1	10.1	2.1	20.0	0.0

Mazapil, Mazapil

24° 42' N, 101° 36' O, 2250 msnm / SMN y evapo SRH

tmax	° C	52	18.7	20.5	23.1	26.1	28.2	29.0	27.8	27.4	26.5	25.5	23.0	19.2	24.6	29.0	18.7	36.8	5.8
tmax ext	° C	52	24.9	26.2	28.4	31.3	33.3	33.6	31.7	32.0	31.0	30.5	28.5	25.7	29.8	33.6	24.9	42.0	8.0
tmin	° C	51	1.9	2.6	4.9	7.7	10.0	11.4	11.1	10.8	10.1	8.1	5.2	3.0	7.3	11.4	1.9	15.2	-3.5
tmin ext	° C	51	-3.6	-2.8	-0.8	2.4	5.7	8.1	8.5	8.3	6.7	3.4	-0.8	-2.7	2.7	8.5	-3.6	13.0	-12.0
tmedia	° C	51	10.3	11.6	14.2	17.0	19.3	20.3	19.6	19.4	18.5	16.9	14.3	11.2	16.1	20.3	10.3	23.4	2.8
evapo	mm	17	121.2	126.4	195.3	217.7	233.3	197.7	196.0	169.3	149.3	145.6	128.2	121.0	2,001.0	233.3	121.0	317.2	0.8
ptot	mm	68	26.2	16.2	12.1	19.8	46.5	62.4	69.3	75.3	67.4	47.2	24.1	19.0	479.9	75.3	12.1	392.3	0.0
granizo	días	62	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	1.3	0.3	0.0	4.0	0.0
niebla	días	62	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.3	0.5	0.7	0.9	0.5	1.0	5.5	1.0	0.1	13.0	0.0
tormenta	días	62	0.1	0.0	0.2	0.2	0.5	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	1.9	0.5	0.0	7.0	0.0
aprec	días	55	4.7	3.8	4.1	5.2	7.4	8.1	9.6	9.5	9.6	6.6	4.8	4.7	76.2	9.6	3.8	31.0	0.0

Viesca. Coahuila

25° 25' N, 102° 48' O, 1093 msnm / SMN y fluv-term SRH

tmax	° C	65	22.7	26.8	29.6	32.7	35.3	35.8	35.1	34.7	32.6	30.0	26.4	22.5	30.3	35.8	22.5	96.0	16.3
tmax ext	° C	65	30.2	31.8	35.4	37.7	39.4	39.8	38.3	38.1	36.9	35.0	32.3	29.2	35.3	39.8	29.2	48.0	5.0
tmin	° C	65	5.6	7.6	10.4	14.8	18.2	21.0	21.3	20.6	18.8	14.6	9.4	6.6	14.1	21.3	5.6	30.3	-3.2
tmin ext	° C	65	-2.0	0.4	3.0	7.3	11.9	16.6	18.1	17.1	13.2	7.9	1.6	-1.0	7.8	18.1	-2.0	26.0	-13.0
tmedia	° C	65	13.9	16.6	19.9	23.6	26.9	28.4	28.3	27.8	25.8	22.4	17.9	14.3	22.2	28.4	13.9	35.5	9.7
evapo	mm	65	76.0	112.2	187.4	263.0	348.4	409.4	416.1	397.1	319.4	240.4	137.4	91.7	2,976.4	416.1	76.0	806.0	0.0
ptot	mm	65	10.2	4.5	3.5	4.8	8.6	21.3	24.5	30.7	30.6	16.4	7.4	9.1	171.6	30.7	3.5	164.4	0.0
pmax extrema (evento)	mm	65	5.7	3.4	2.5	3.6	5.5	12.4	12.0	14.7	14.8	8.9	5.1	5.5	7.8	14.8	2.5	80.0	0.0
granizo	días	65	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	1.0	0.0
niebla	días	65	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	5.0	0.0
tormenta	días	65	0.3	0.4	0.3	1.0	2.4	3.5	4.2	5.0	2.7	1.4	0.3	0.3	21.5	5.0	0.3	25.0	0.0
aprec	días	34	1.5	1.0	0.5	1.0	1.7	3.0	2.7	4.0	3.6	2.6	1.2	1.4	24.4	4.0	0.5	11.0	0.0

San Rafael, Mazapil

24° 36' N, 101° 59' O, 1706 msnm / SMN y fluv SRH

tmax	° C	16	19.7	21.6	24.4	27.7	29.1	29.4	28.1	27.0	25.8	23.9	21.5	19.3	24.6	29.4	19.3	34.8	7.9
tmax ext	° C	16	25.6	27.2	29.7	31.9	33.4	34.3	32.3	31.7	30.6	30.1	28.5	24.9	30.1	34.3	24.9	40.0	18.0
tmin	° C	17	4.9	6.3	8.1	10.5	12.0	13.6	13.3	12.3	11.3	9.9	7.3	5.8	9.7	13.6	4.9	18.2	-3.5
tmin ext	° C	17	-2.1	-0.6	2.2	6.9	8.9	10.5	9.4	9.6	8.2	6.3	0.4	-0.6	5.2	10.5	-2.1	13.0	-9.0
tmedia	° C	17	12.2	13.9	16.3	19.1	20.6	21.1	20.7	19.5	18.6	16.9	14.4	12.5	17.2	21.1	12.2	25.1	4.5
ptot	mm	62	12.3	7.2	3.3	5.6	13.2	38.9	49.4	51.5	52.0	27.8	8.9	16.0	284.8	52.0	3.3	332.0	0.0
granizo	días	62	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	2.0	0.0
niebla	días	62	1.0	0.7	0.6	0.0	0.0	0.7	0.6	0.5	0.7	0.3	0.6	0.6	6.0	1.0	0.0	31.0	0.0
tormenta	días	62	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.8	0.9	0.7	0.6	0.2	0.0	0.1	3.7	0.9	0.0	13.0	0.0
aprec	días	51	2.0	1.3	1.2	1.7	3.0	5.4	6.8	6.9	5.5	3.1	1.2	2.6	40.5	6.9	1.2	23.0	0.0

Bajío Ahuichila Viesca

25° 05' N, 102° 40' O, 1300 msnm / SMN

tmax	° C	29	22.1	24.8	28.6	31.4	34.0	34.8	33.4	33.4	31.2	29.1	25.7	22.1	29.2	34.8	22.1	39.7	16.9
tmax ext	° C	29	28.5	30.7	34.3	36.4	38.6	38.9	37.2	37.1	35.4	33.8	31.3	28.3	34.2	38.9	28.3	45.0	23.0
tmin	° C	29	0.9	2.6	5.5	8.7	12.0	14.8	15.6	15.4	13.5	9.2	4.5	1.0	8.6	15.6	0.9	18.7	-4.4
tmin ext	° C	29	-6.6	-4.1	-2.1	2.5	6.9	10.4	12.2	12.4	9.0	2.4	-3.4	-6.8	2.7	12.4	-6.8	16.0	-12.0
tmedia	° C	29	11.3	13.7	17.0	20.1	23.0	24.8	24.5	24.3	22.4	19.1	15.2	11.5	18.9	24.8	11.3	26.9	7.6
ptot	mm	38	12.1	4.7	4.5	7.5	14.1	26.9	50.5	38.7	39.0	21.9	10.0	13.5	243.4	50.5	4.5	300.0	0.0
granizo	días	38	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	1.0	0.0
niebla	días	38	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	1.0	0.0
tormenta	días	38	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	2.0	0.7	0.0	9.0	0.0

Tabla vi - Comparación general de la heterogeneidad a nivel de subcuadros

(Las variaciones se evalúan a nivel de riqueza de los subcuadros; X=media, DE1=desviación estándar latitudinal, DE2=desviación estándar longitudinal)

Huizache

		X	DE2			
41	30	22	26	27	29	7
37	28	26	24	27	28	5
30	24	23	22	25	25	3
21	17	24	24	22	22	3
18	17	16	24	22	19	3
X	29	23	22	24	25	4.3
DE1	10	6	4	1	3	4.7

Variación general

Desviación estandar general: **5.7**

Variación latitudinal

Desviación estándar de DE1: **3.4**

Variación longitudinal

Desviación estándar de DE2: **1.8**

Mier y Noriega

		X	DE2			
22	22	27	22	20	23	3
21	21	23	20	24	22	2
29	28	23	24	21	25	3
27	34	21	25	27	27	5
24	31	23	25	28	26	3
X	25	27	23	23	24	3.1
DE1	3	6	2	2	4	3.4

Variación general

Desviación estandar general: **3.6**

Variación latitudinal

Desviación estándar de DE1: **1.4**

Variación longitudinal

Desviación estándar de DE2: **1.1**

Mazapil

		X	DE2			
23	23	23	23	26	24	1
18	16	25	21	19	20	3
20	18	18	25	25	21	4
22	15	21	18	13	18	4
16	25	25	19	20	21	4
X	20	19	22	21	21	3.2
DE1	3	4	3	3	5	3.7

Variación general

Desviación estandar general: **3.6**

Variación latitudinal

Desviación estándar de DE1: **1.1**

Variación longitudinal

Desviación estándar de DE2: **1.1**

Comparación porcentual* de la variación en Mazapil con respecto a:

	Huizache (%)	Mier y Noriega (%)
Variación general	63.37	100.51
Variación latitudinal	32.27	77.08
Variación longitudinal	59.23	94.99

* Refiere al porcentaje que representa la variación en Mazapil con respecto al cuadro geográfico que sirve de comparación.

Tabla viii – Definición de áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis de complementariedad para las especies de Cactaceae que presentan bajas frecuencias relativas. Complemento (CO) = 24

Áreas prioritarias	A1	A2	A1+A2	A3	A1+A2+A3	A4
Subcuadros que la constituyen	14	11		1,5,15,17,24		2
Riqueza	10	6	16	20	23	4
Porcentaje de complementariedad	41.67	25.00	66.67	29.17	95.83	4.17
Porcentaje de especies incluidas	41.67	29.17	66.67	75.00	95.83	8.89
Complemento residual (RC)	10	6	16	7	23	1

Tabla ix – Definición de áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis de complementariedad para las especies de Cactaceae que presentan mayor grado de especialización edáfica. Complemento (CO) = 15

Áreas prioritarias	A1	A2	A1+A2	A3
Subcuadros que la constituyen	5,14	11		1,2,17,24
Riqueza	7	4	11	10
Porcentaje de complementariedad	46.67	26.67	73.33	26.67
Porcentaje de especies incluidas	46.67	26.67	73.33	66.67
Complemento residual (RC)	7	4	11	4

Tabla x – Definición de áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis de complementariedad para las especies de Cactaceae que presentan mayor grado de especialización climática. Complemento (CO) = 17

Áreas prioritarias	A1	A2	A1+A2	A3	A1+A2+A3	A4
Subcuadros que la constituyen	11	14		1,5,24		2,20,25
Riqueza	6	4	10	8	15	5
Porcentaje de complementariedad	35.29	23.53	58.82	29.41	88.24	11.76
Porcentaje de especies incluidas	35.29	23.53	58.82	47.06	88.24	29.41
Complemento residual (RC)	6	4	10	5	15	2

Tabla xi – Definición de áreas prioritarias para la conservación con base en el análisis de complementariedad para las especies de Cactaceae que presentan mayor grado de escasez local relativa. Complemento (CO) = 20

Áreas prioritarias	A1	A2	A1+A2	A3
Subcuadros que la constituyen	11,14	1,5		2,24
Riqueza	15	10	18	7
Porcentaje de complementariedad	75.00	15.00	90.00	10.00
Porcentaje de especies incluidas	75.00	50.00	90.00	35.00
Complemento residual (RC)	15	3	18	2

Tabla xii - Tipos de vegetación ordenados en forma decreciente según su dominancia.

Localidad (No.)	Vegetación (INE, 2005)	Vegetación observada	Localidad (No.)	Vegetación (INE, 2005)	Vegetación observada
1	mr-bpa-pi	R	26	mm-mmv	MRS
2	mmv-at-mr	MP	27	mm-at	MS
3	mm-mmv-mr	RI	28	mr-mmv	SR
4	mm-vhg-mmv	SI	29	mmv-at-mr	MN
5	mr-mmv	RI	30	mm-mr	MN
6	bpa-mr	IB	31	mm	SIR
7	mmv-mr	S	32	mm-at-mmv	MS
8	mr-mmv	SR	33	mr	SR
9	mmv-mm	MI	34	mr	SIN
10	mr-mm	MR	35	mr-pi	SI
11	mr-at	MIP	36	bph-mmv-pi	MPRB
12	mr-mmv	MIR	37	mr-mmv	MIR
13	pi-mmv	MR	38	mmv-mr	MIR
14	mr	MR	39	mmv-at	MP
15	mmv-mr	M	40	mm-pi	SI
16	mr-bpa	BR	41	mmv-mr-vhg	S
17	bpa-mr-pi	BR	42	mr	MIR
18	mr	MIR	43	mm-mr	MIR
19	mmv-at	MIN	44	mmv-mr	SR
20	mr	SP	45	mr-mm	SR
21	mmv-at	MN	46	mmv	S
22	mr-mm-mmv	MR	47	mr-mm	MR
23	mr-mmv	MIR	48	mm-mr	MR
24	mmv-mm	MS	49	mr-mm-vhg	MR
25	mr-mm-mmv	MIR	50	mr-mm-mmv	MRN

Tipos de vegetación de acuerdo con la cartografía digital del INE (2005)

mr	Matorral desértico rosetófilo
mmv	Matorral desértico micrófilo y vegetación secundaria
mm	Matorral desértico micrófilo
bpa	Bosque de pino con vegetación secundaria arbórea
bph	Bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
at	Agricultura de temporal
pi	Pastizales inducidos
vhg	Vegetación halófila y gipsófila

Tipos de vegetación de acuerdo con las observaciones de campo

R	Matorral desértico rosetófilo
S	Matorral desértico micrófilo y vegetación secundaria
M	Matorral desértico micrófilo
B	Bosque de pino con vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea
A	Agricultura de temporal
P	Pastizales inducidos
H	Vegetación halófila y gipsófila
I	Izotal de <i>Dasyliiron</i> sp. y/o <i>Yucca</i> sp., con vegetación secundaria
N	Nopalera de <i>Opuntia rufida</i> (<i>O. rastrera</i> en ocasiones) promovida por el ser humano

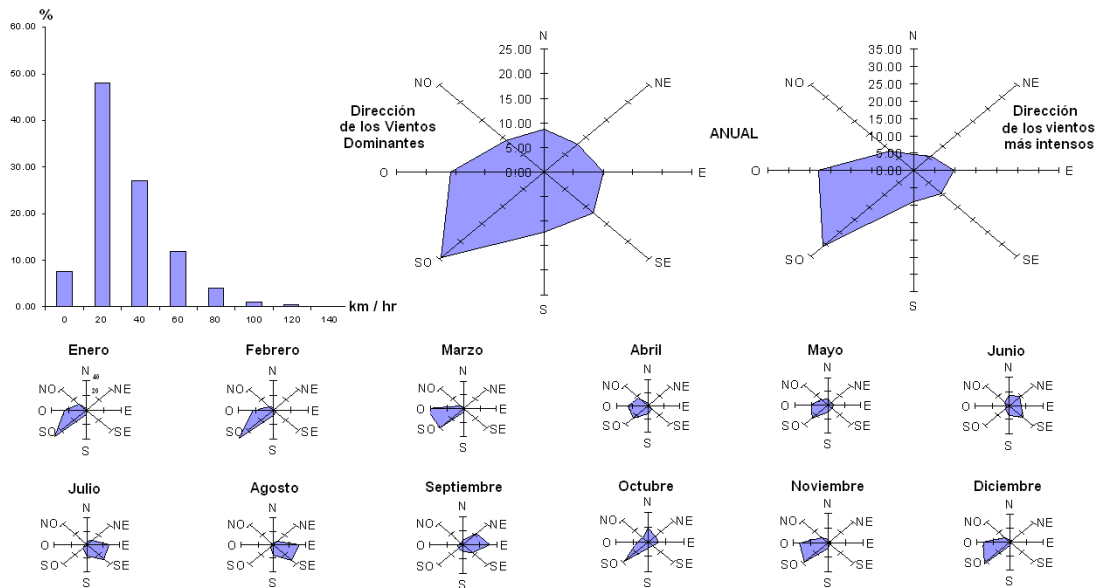


Figura i – Distribución mensual y anual de la intensidad y la dirección de los vientos dominantes hasta los 3500 msnm con base en los datos de las sondas meteorológicas del Obs. Met. de la Bufo, Zacatecas (SMN, 2000 a 2002). La información es consistente con las cartas de vientos del Instituto de Geografía de la UNAM. Las gráficas refieren la distribución porcentual de la dirección del viento.

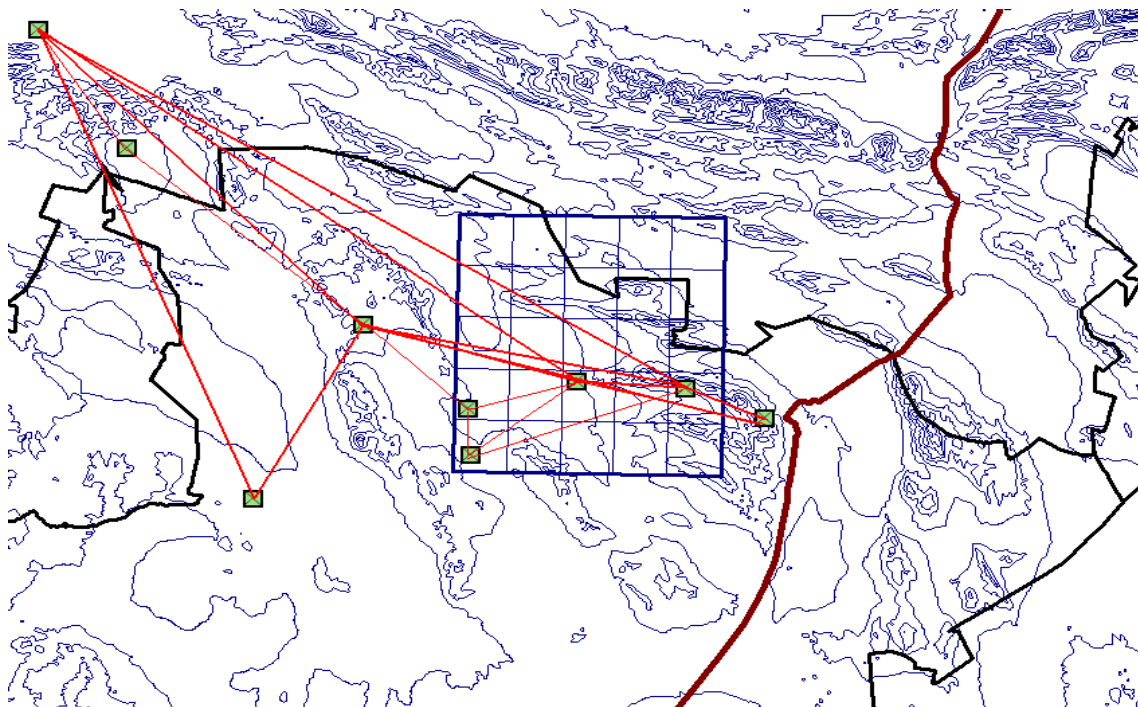


Figura iii – Principales trazos de los gradientes que resultaron relevantes para la obtención de los gradientes medios que se muestran en la Tabla 2 (Sección 3.3.3). Los gradientes particulares empleados en cada caso se eligieron independientemente de acuerdo a la disposición topográfica en torno a cada estación meteorológica y la influencia de los vientos predominantes. En líneas gruesas se destacan los más importantes, empleados en la mayoría de las estimaciones generadas, mientras que las líneas más delgadas señalan gradientes utilizados únicamente para algunos casos.

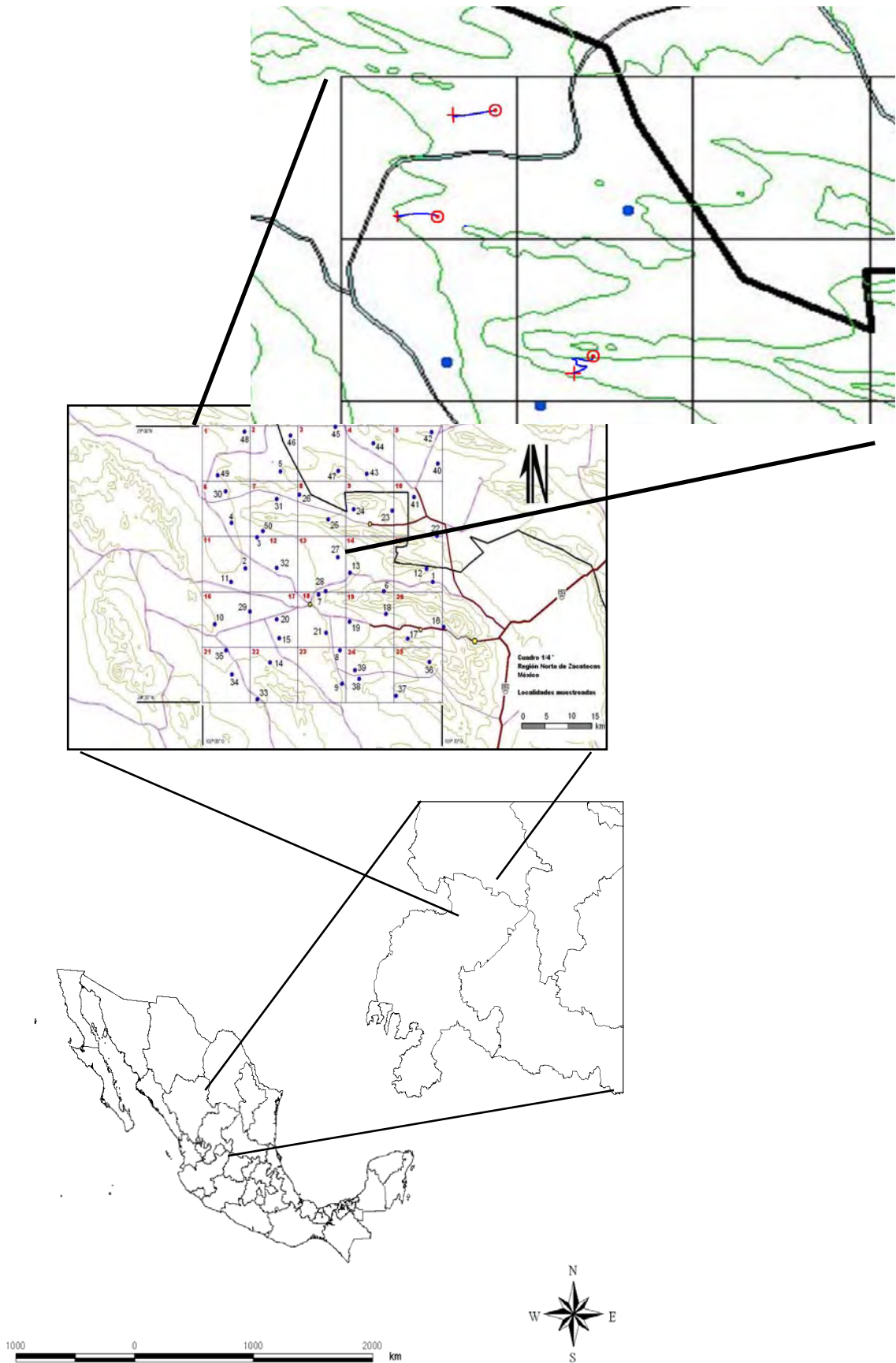


Figura ii – Distribución de las localidades de muestreo y representación gráfica de la estructuración general del mismo. Se muestran transectos hipotéticos en un lugar plano (rectilíneo), en un sitio con lomeríos (casi rectilíneo) y en la ladera de un cerro con terreno accidentado (curvas). Las lecturas GPS registradas suelen corresponder al punto más alejado, es decir al final del transecto (representado por círculos).

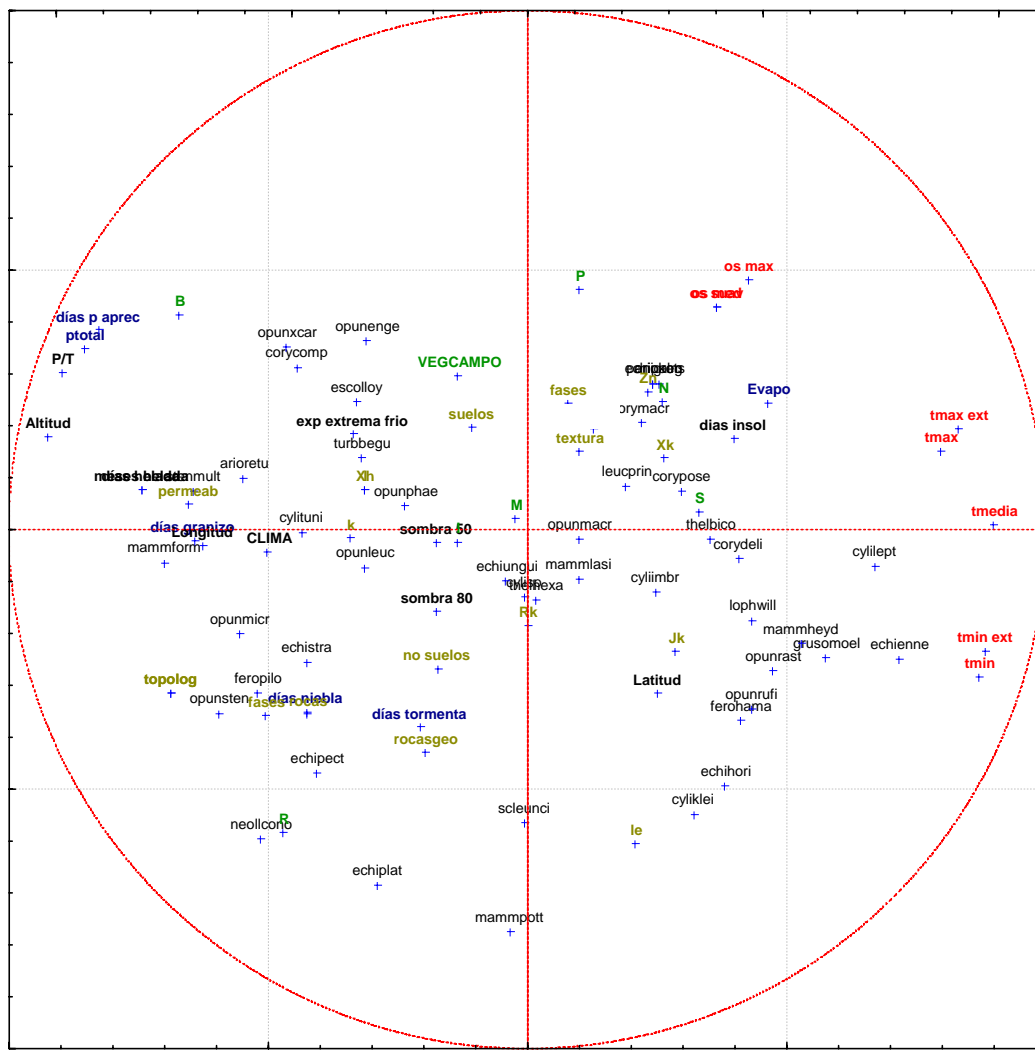


Figura iv – Detalle de la nube de puntos de la figura 16 (Sección 4.5) en donde se pueden observar las asociaciones de los taxa de Cactaceae y los puntos de dirección de las variables evaluadas. Los taxa son nominados mediante las primeras cuatro letras del género y de la especie para lograr mayor claridad.

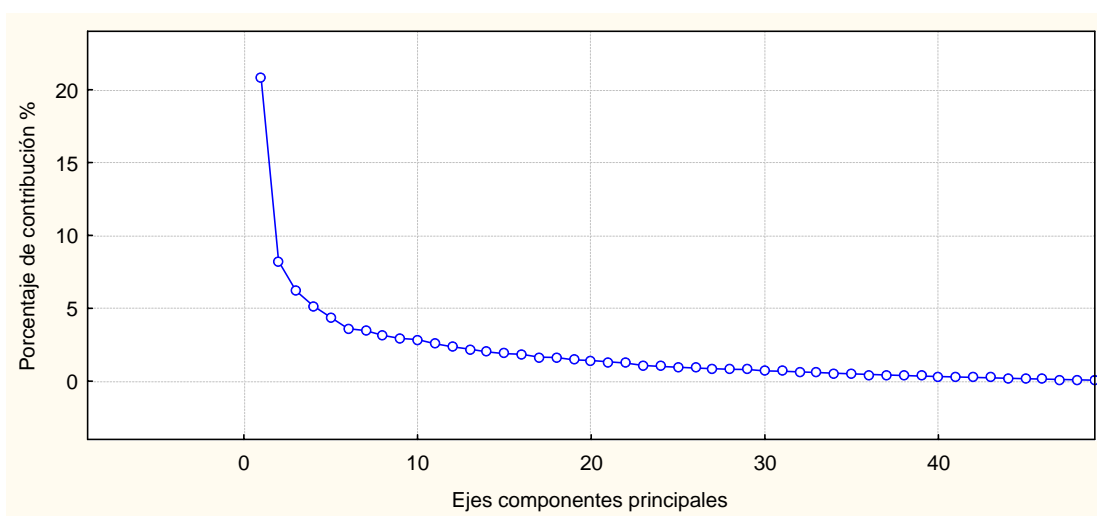


Figura v – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP general de factores ambientales, cuyos resultados se muestran en las figuras 16 e iv.

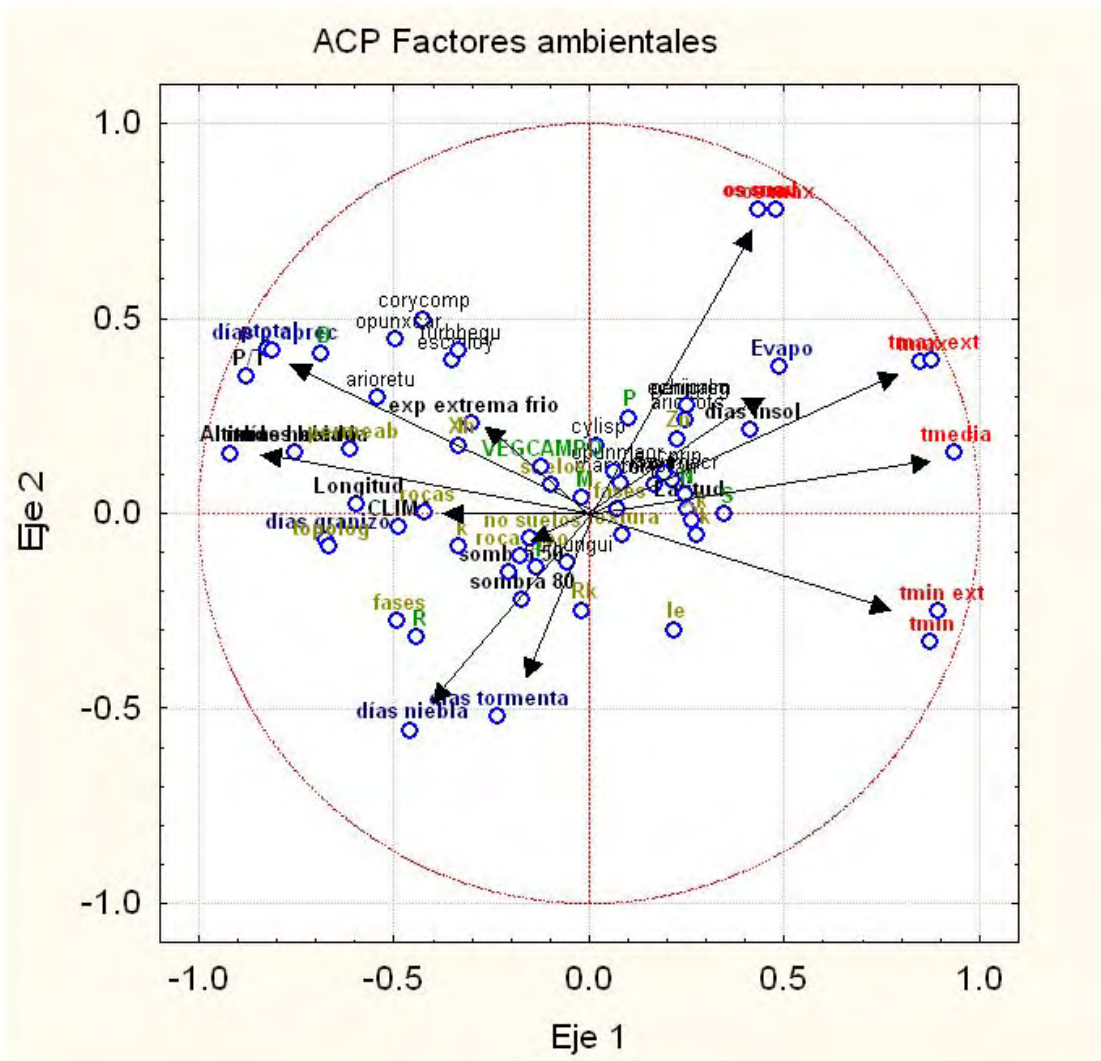


Figura vi – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de las taxa de Cactaceae con mayor grado de especialización edáfica en función de las variables ambientales. Eje 1 vs eje 2.

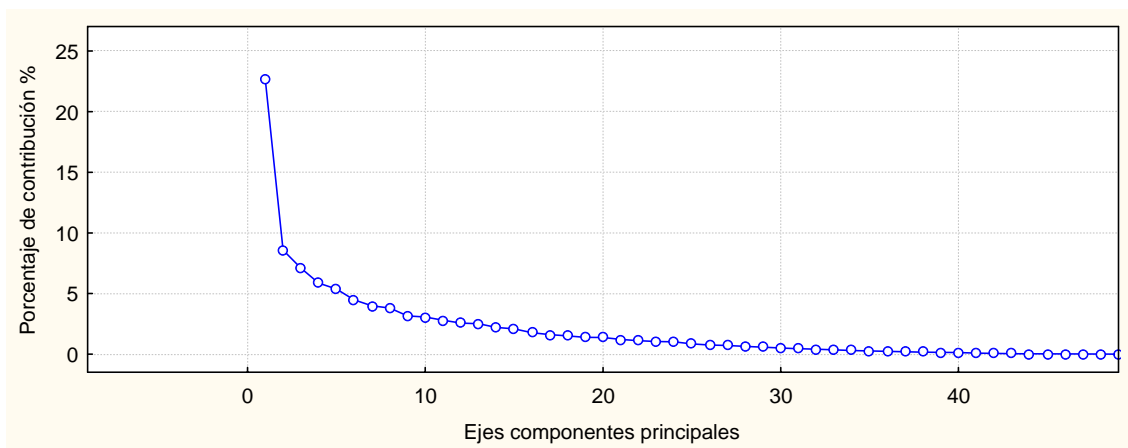


Figura vii – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura vi.

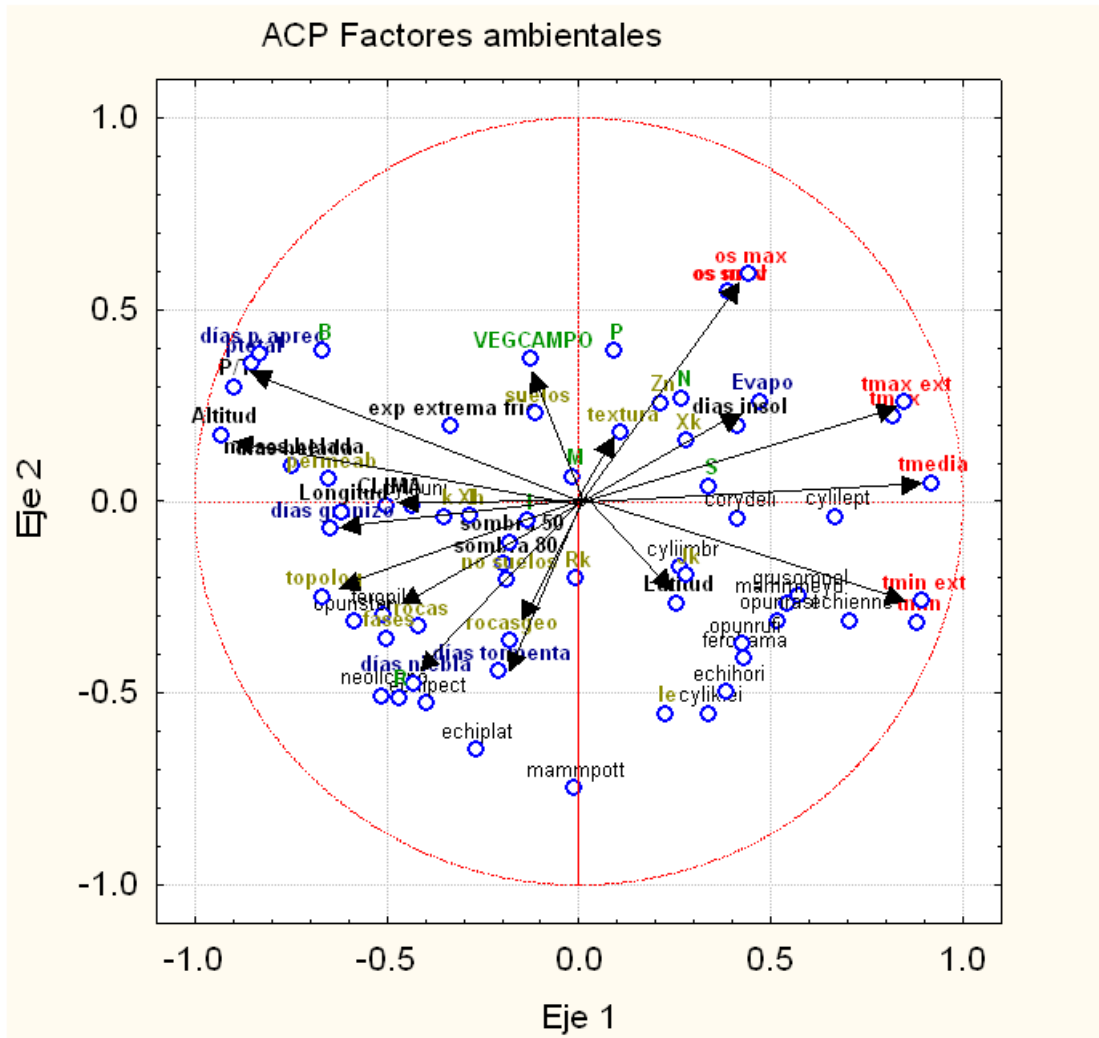


Figura viii – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae con menor grado de especialización edáfica (generalistas) en función de las variables ambientales. Eje 1 vs eje 2.

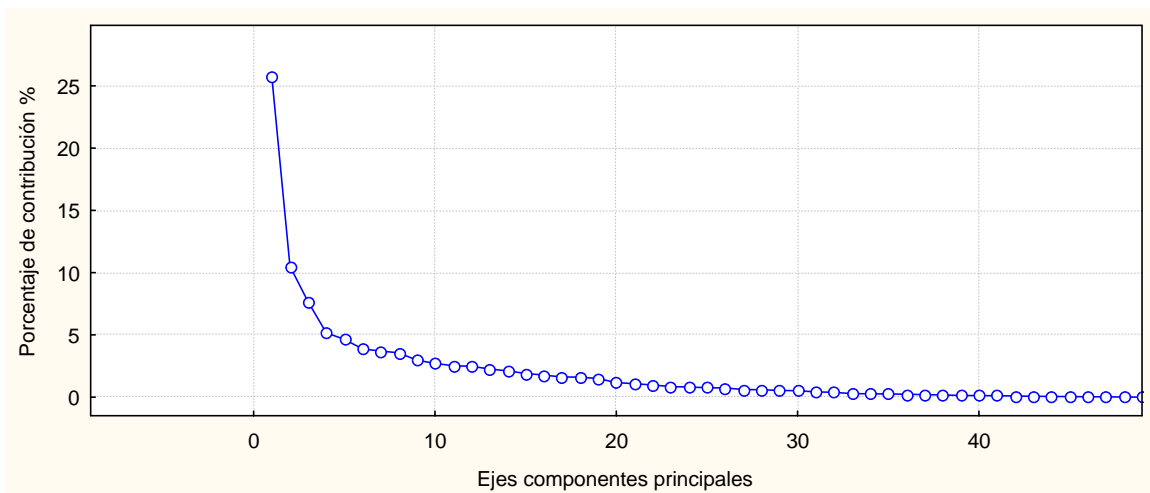


Figura ix – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura viii.

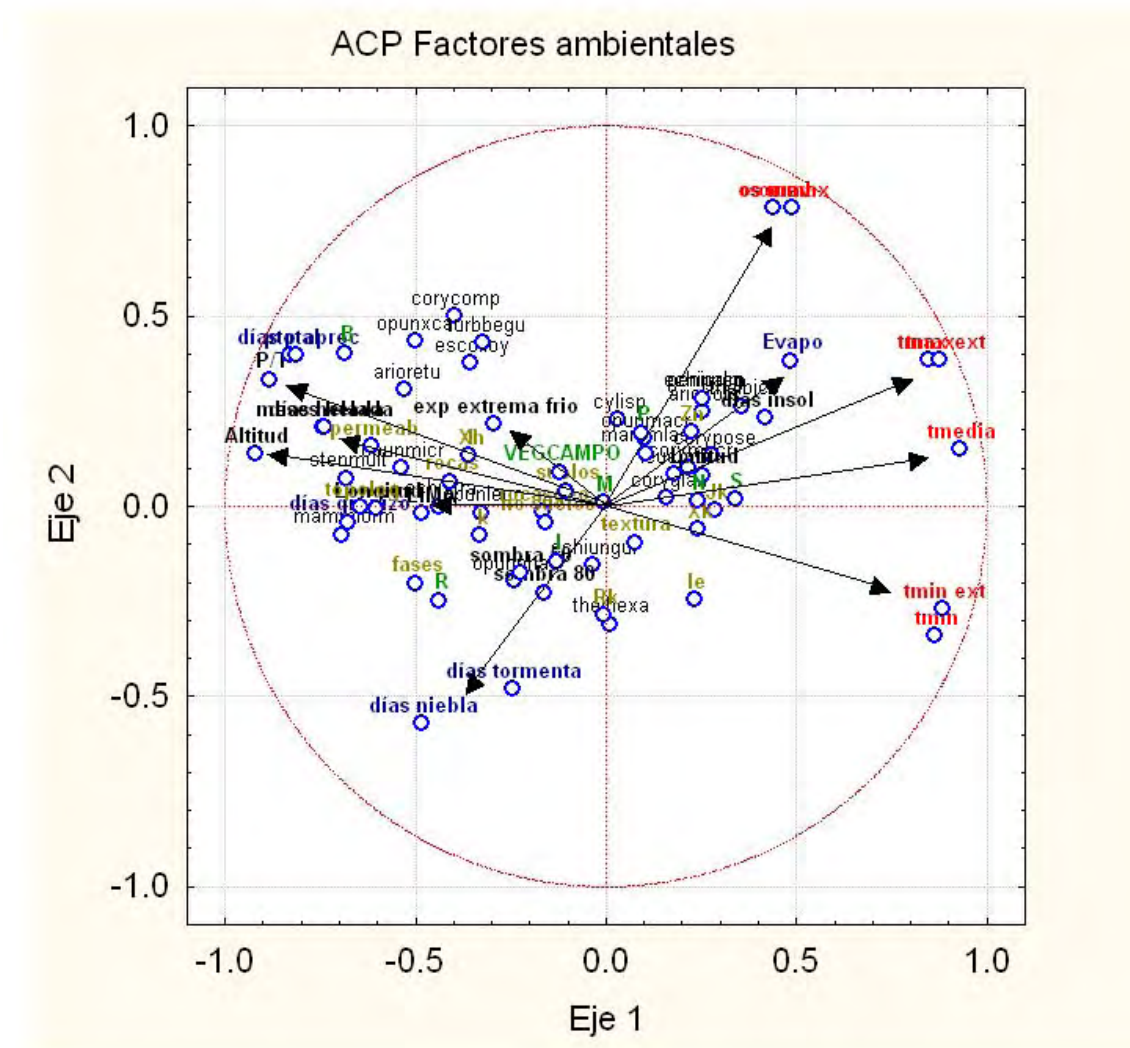


Figura x – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae con bajas frecuencias relativas en función de las variables ambientales. Eje 1 vs eje 2.

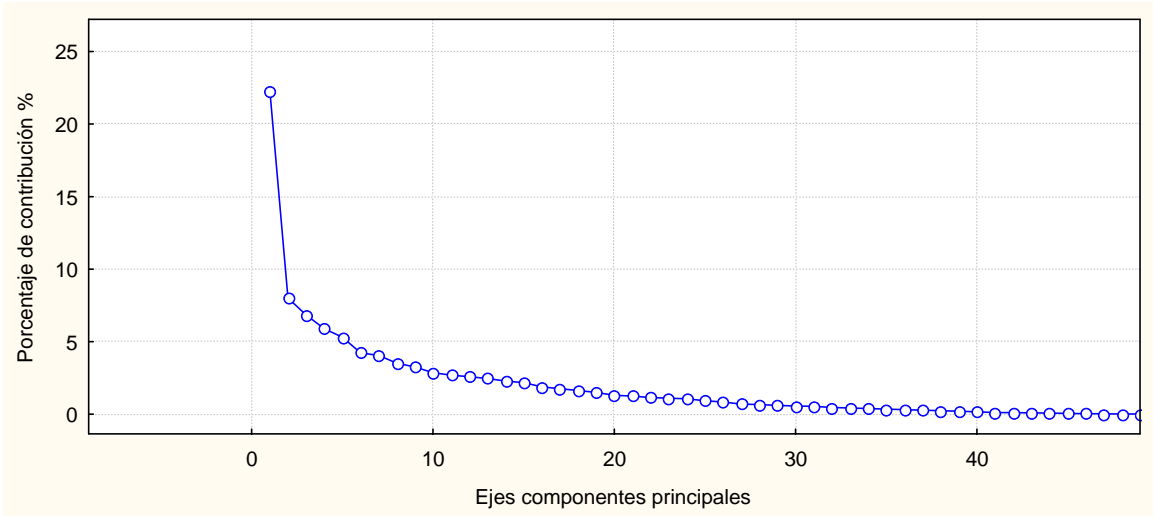


Figura xi – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura x.

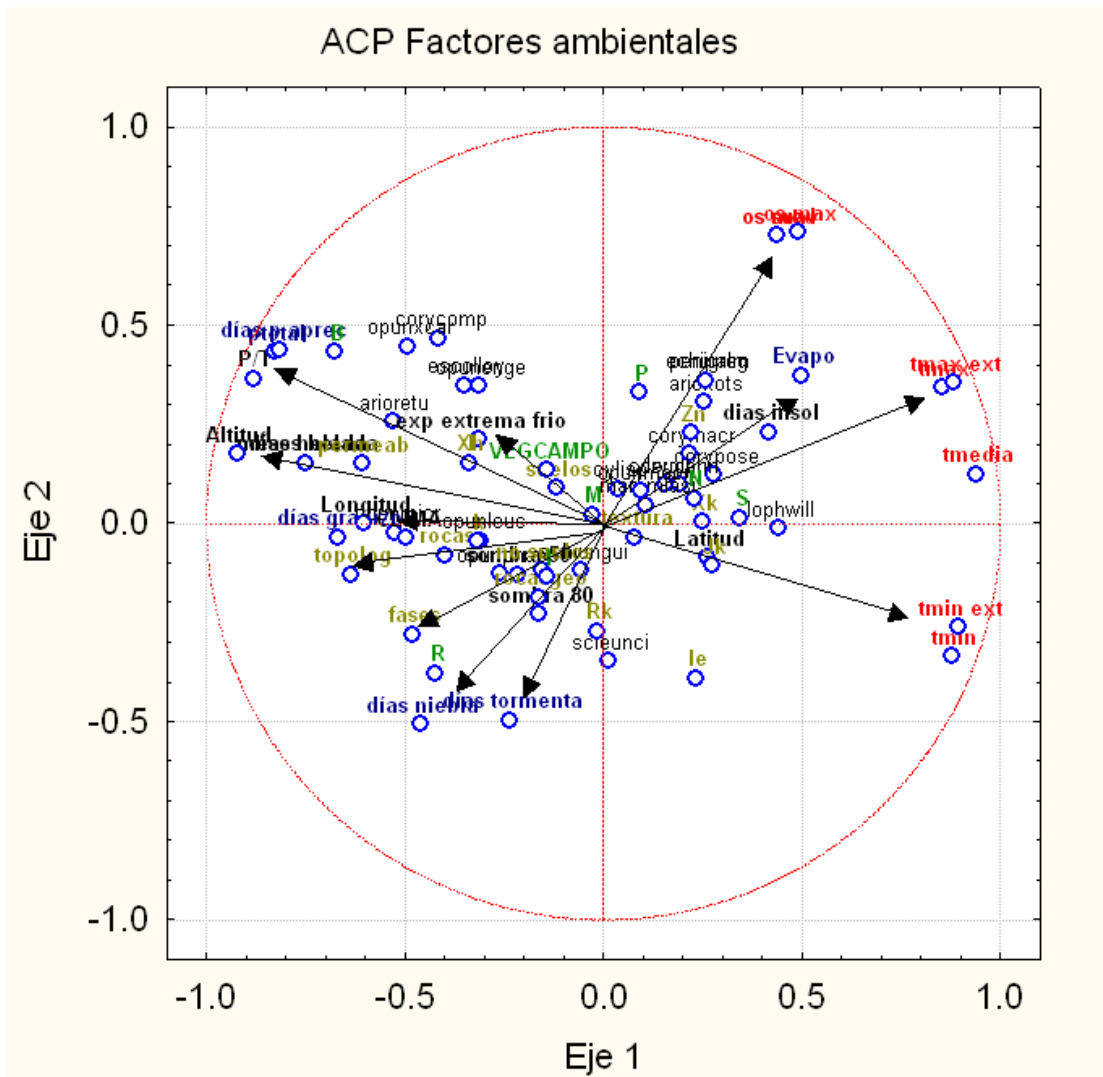


Figura xii – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae con mayor grado de escasez relativa en función de las variables ambientales. Eje 1 vs eje 2.

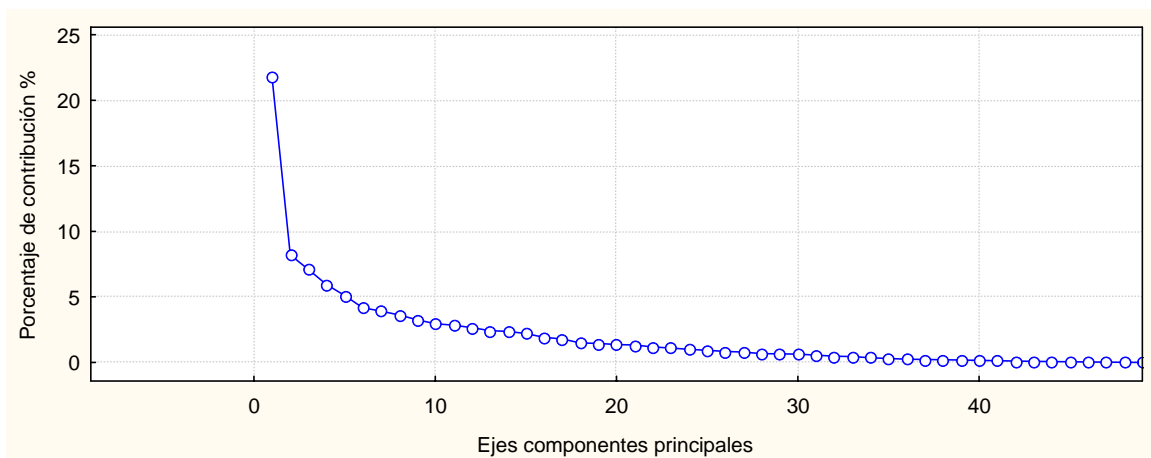


Figura xiii – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura xii.

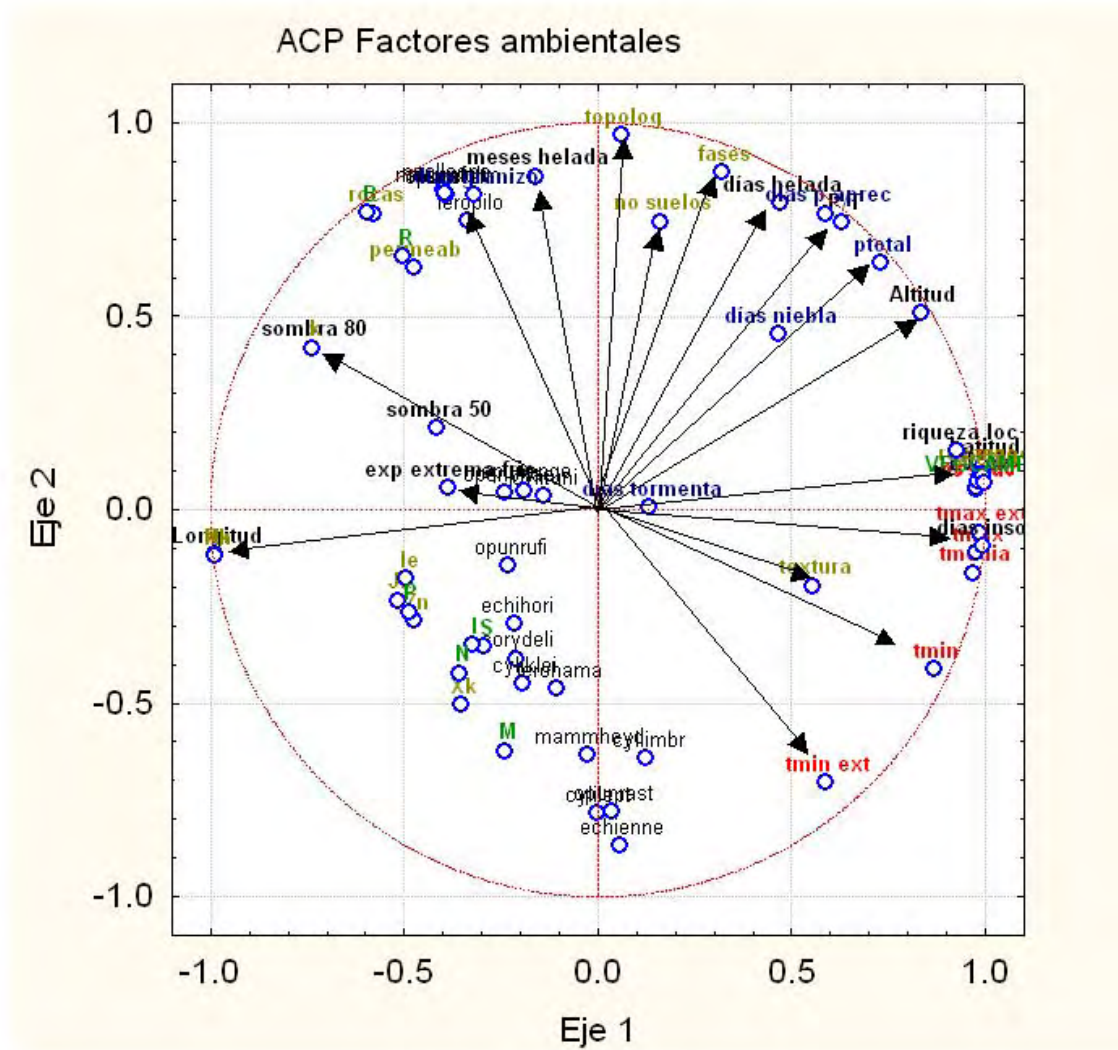


Figura xiv – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae en los sitios menos diversos en función de las variables ambientales. Eje 1 vs eje 2.

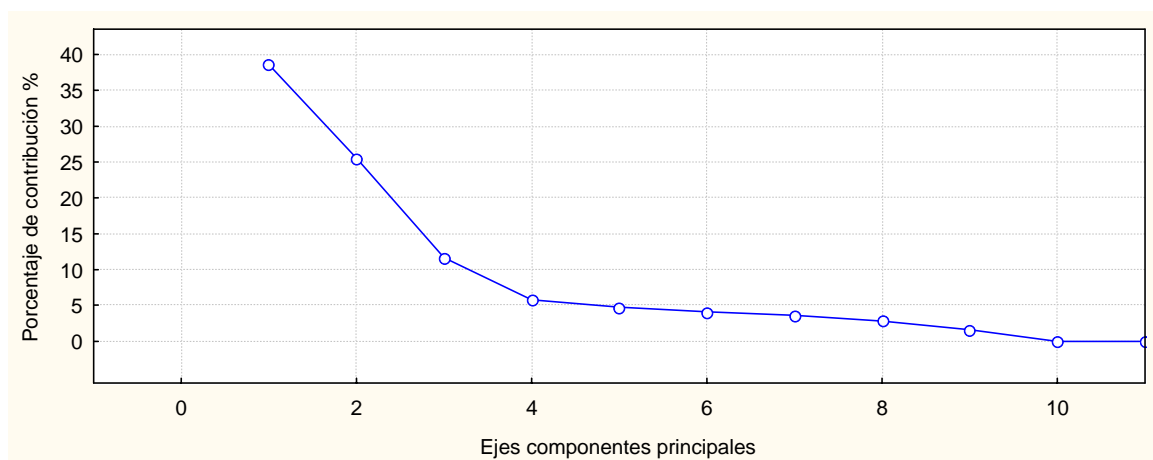


Figura xv – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura xiv.

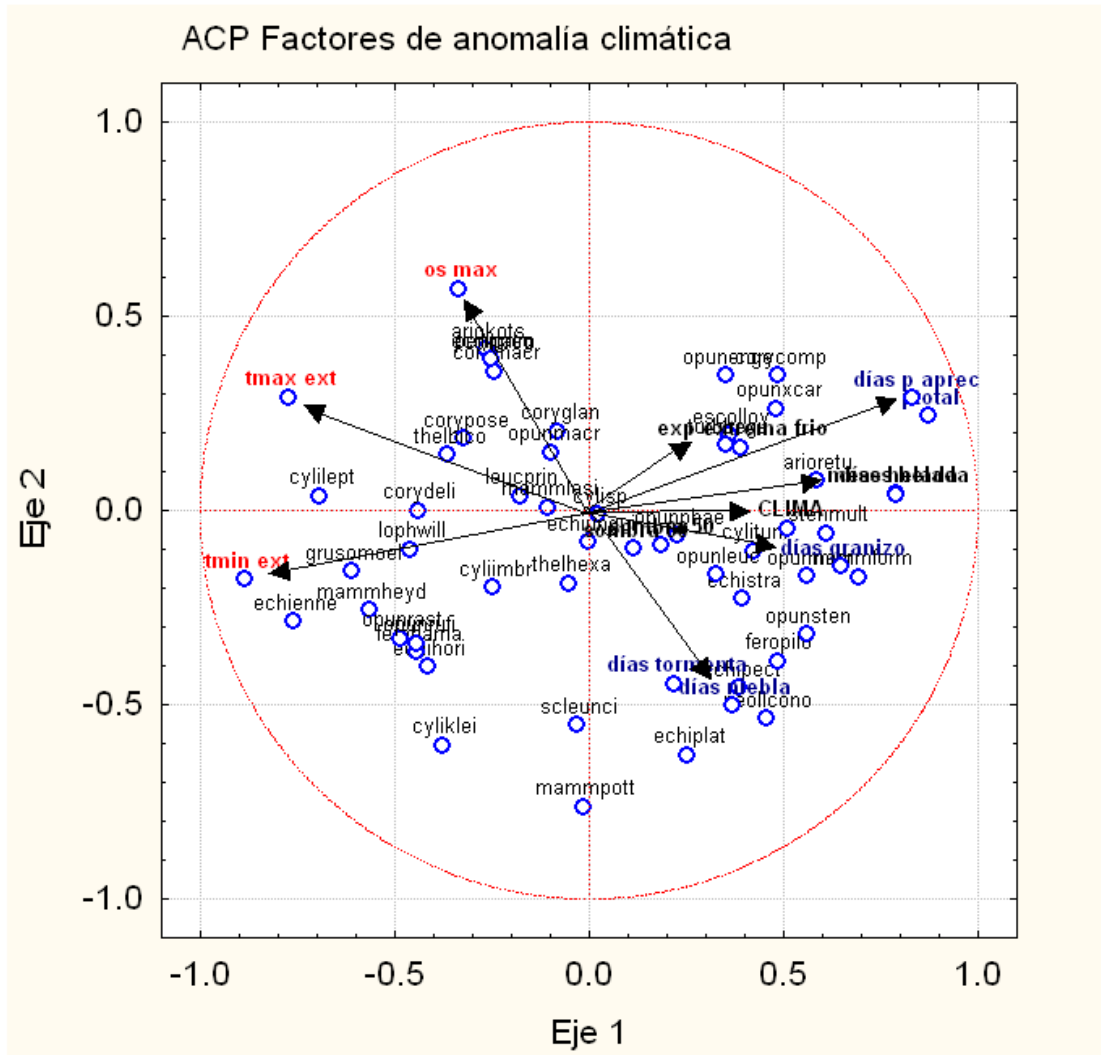


Figura xvi – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae en función de las anomalías climáticas. Eje 1 vs eje 2.

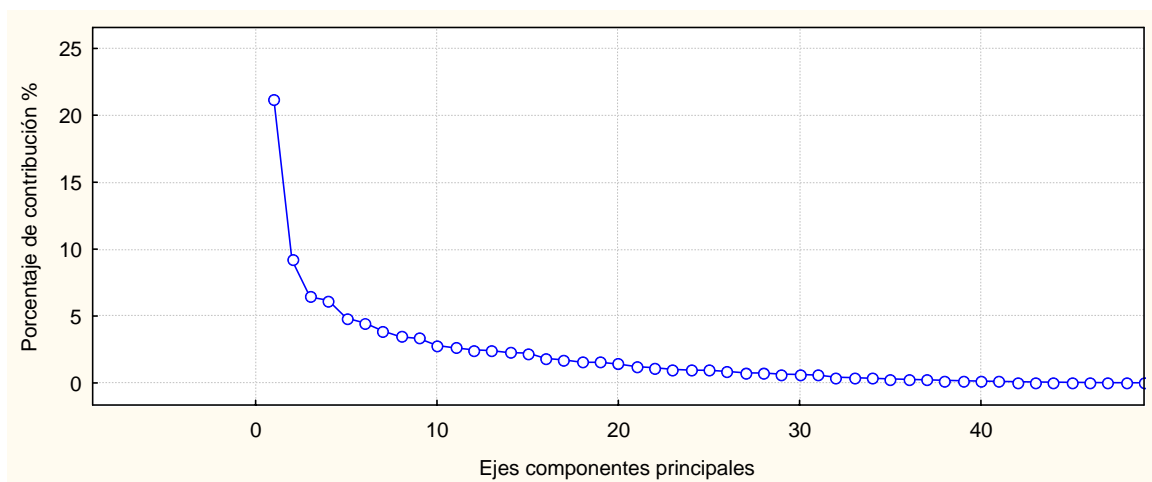


Figura xvii – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura xvi.

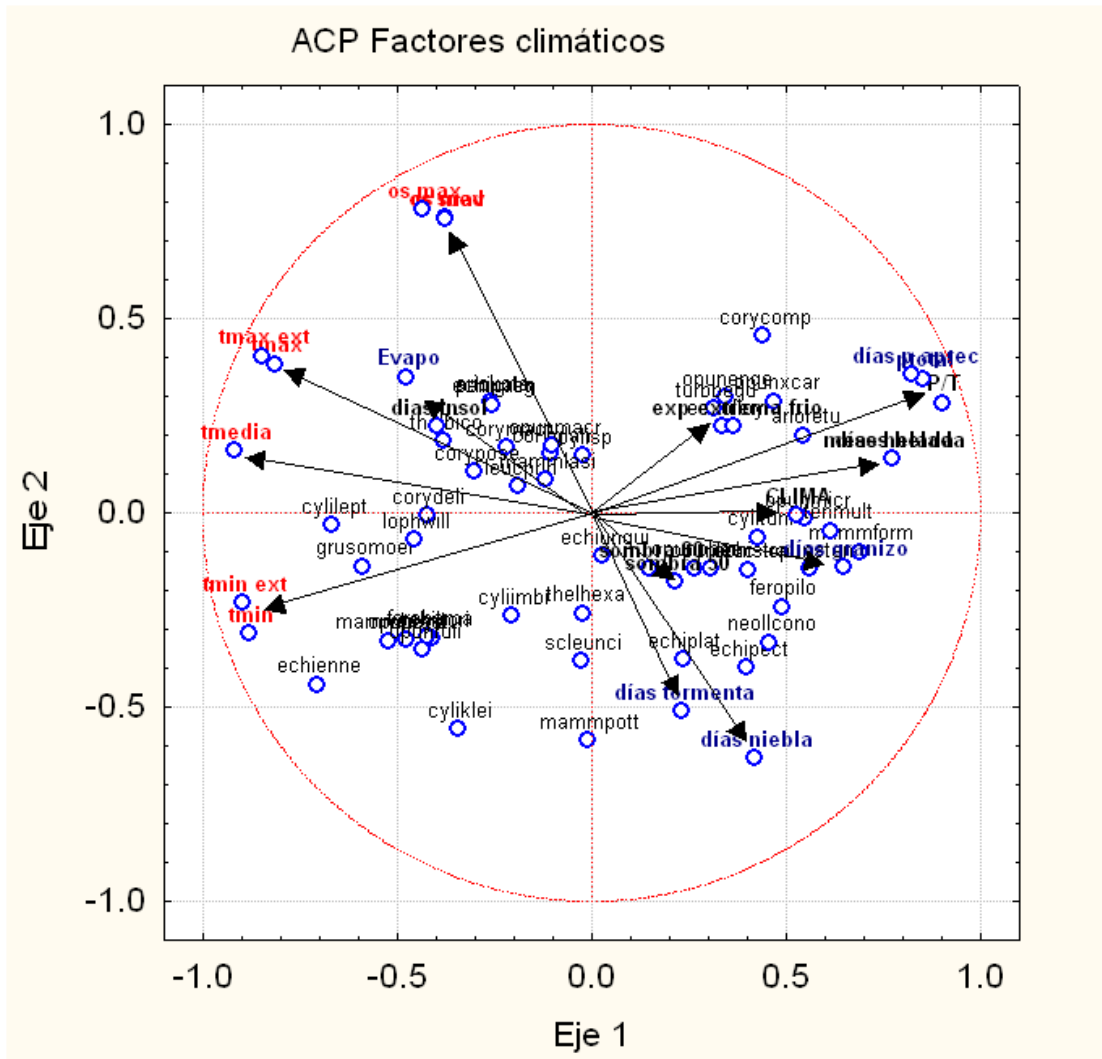


Figura xviii – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae en función de los factores climáticos. Eje 1 vs eje 2.

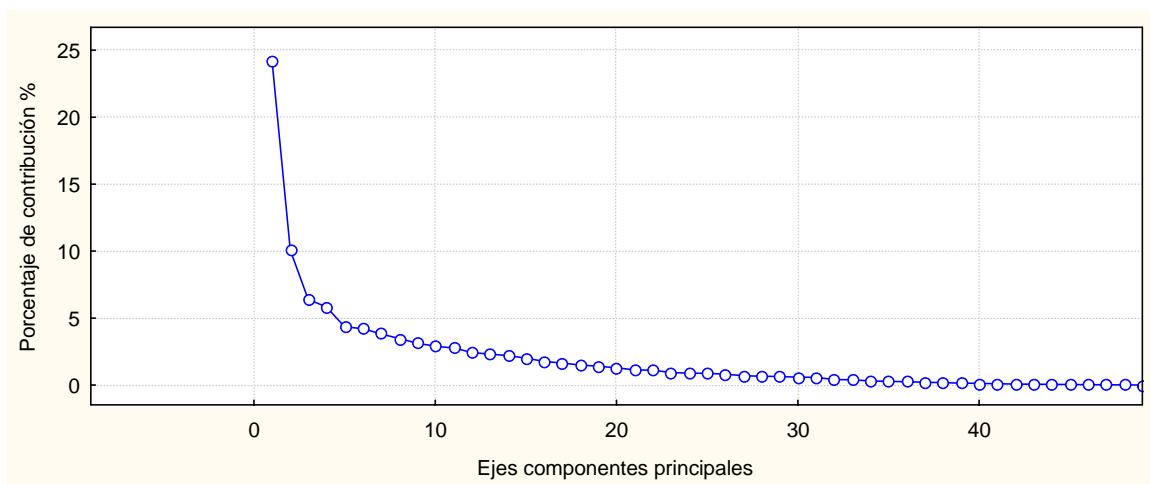


Figura xix – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura xviii.

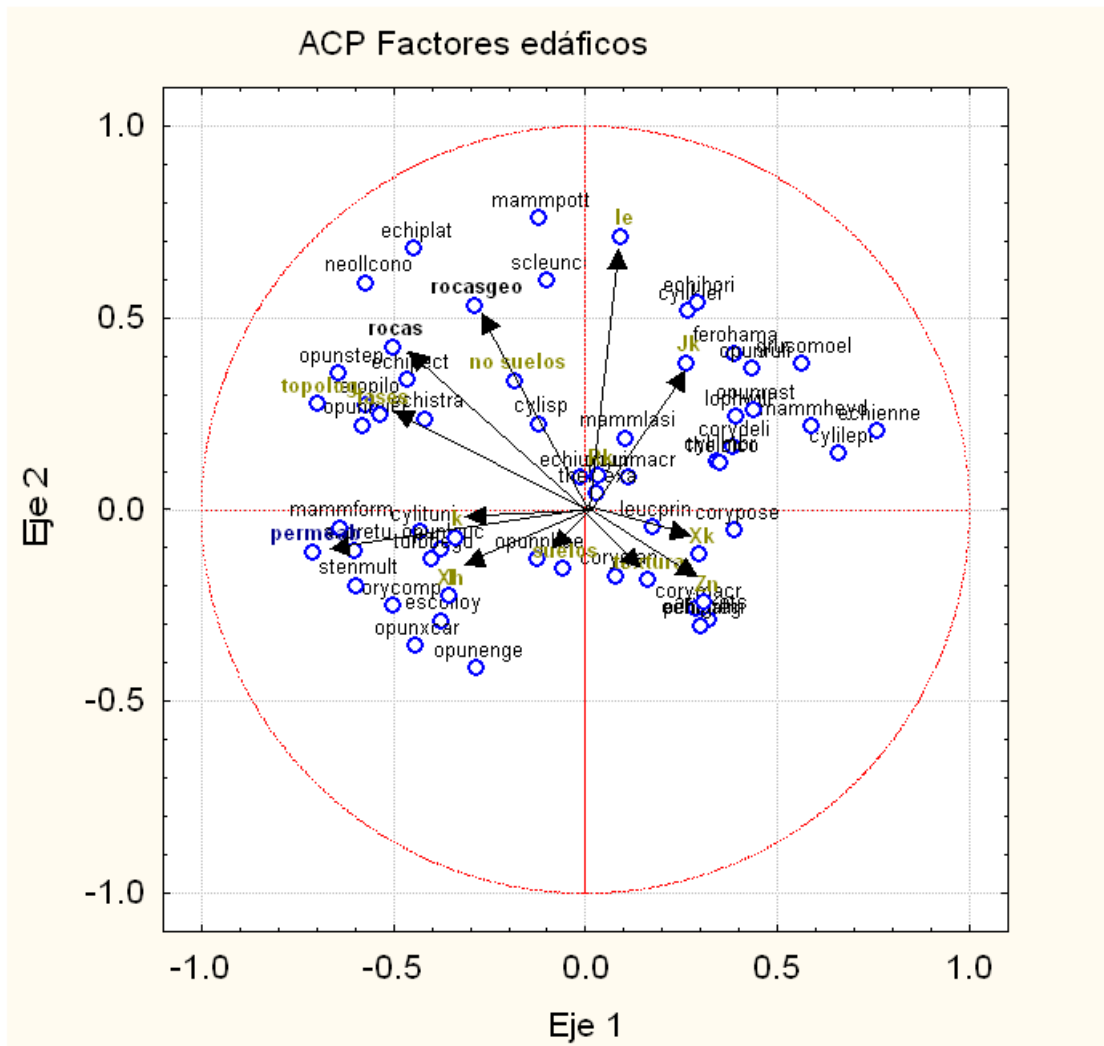


Figura xx – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae en función de los factores edáficos. Eje 1 vs eje 2.

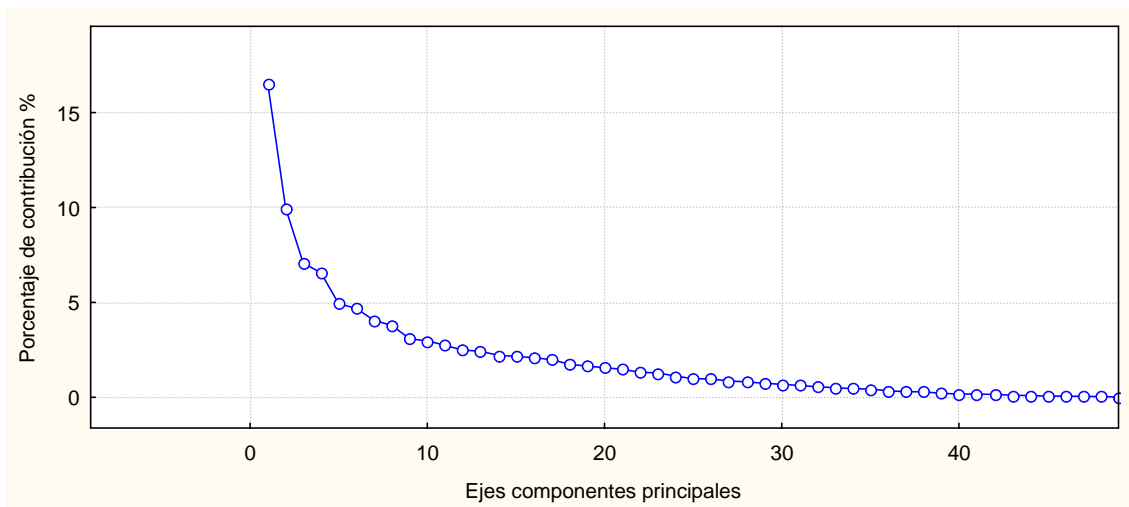


Figura xxi – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura xx.

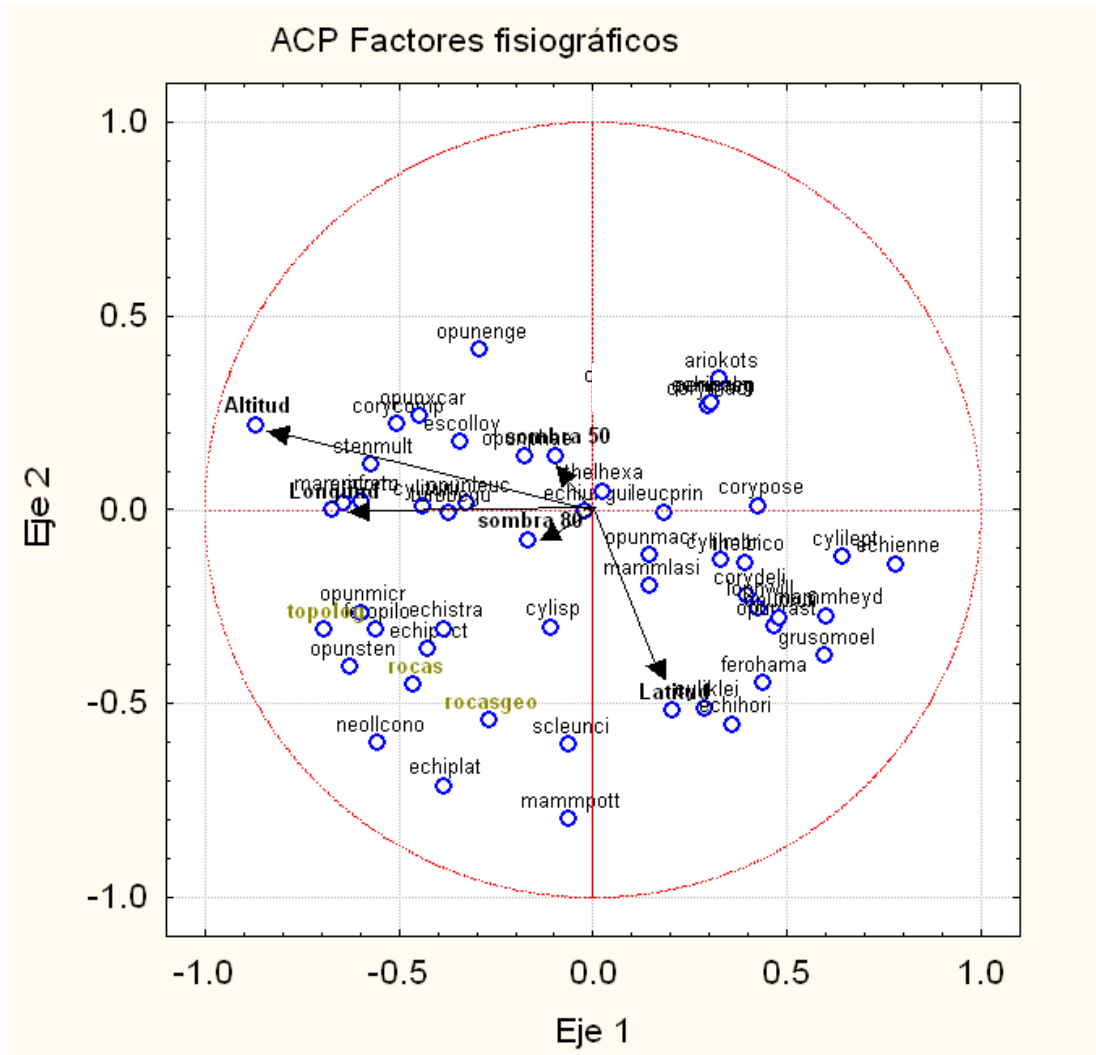


Figura xxii – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae en función de los factores fisiográficos. Eje 1 vs eje 2.

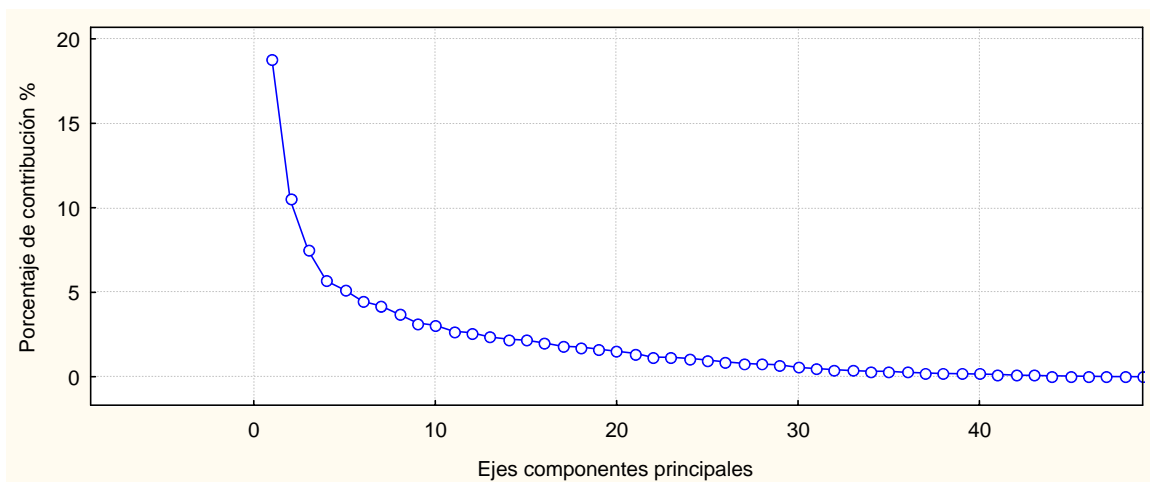


Figura xxiii – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura xxii.

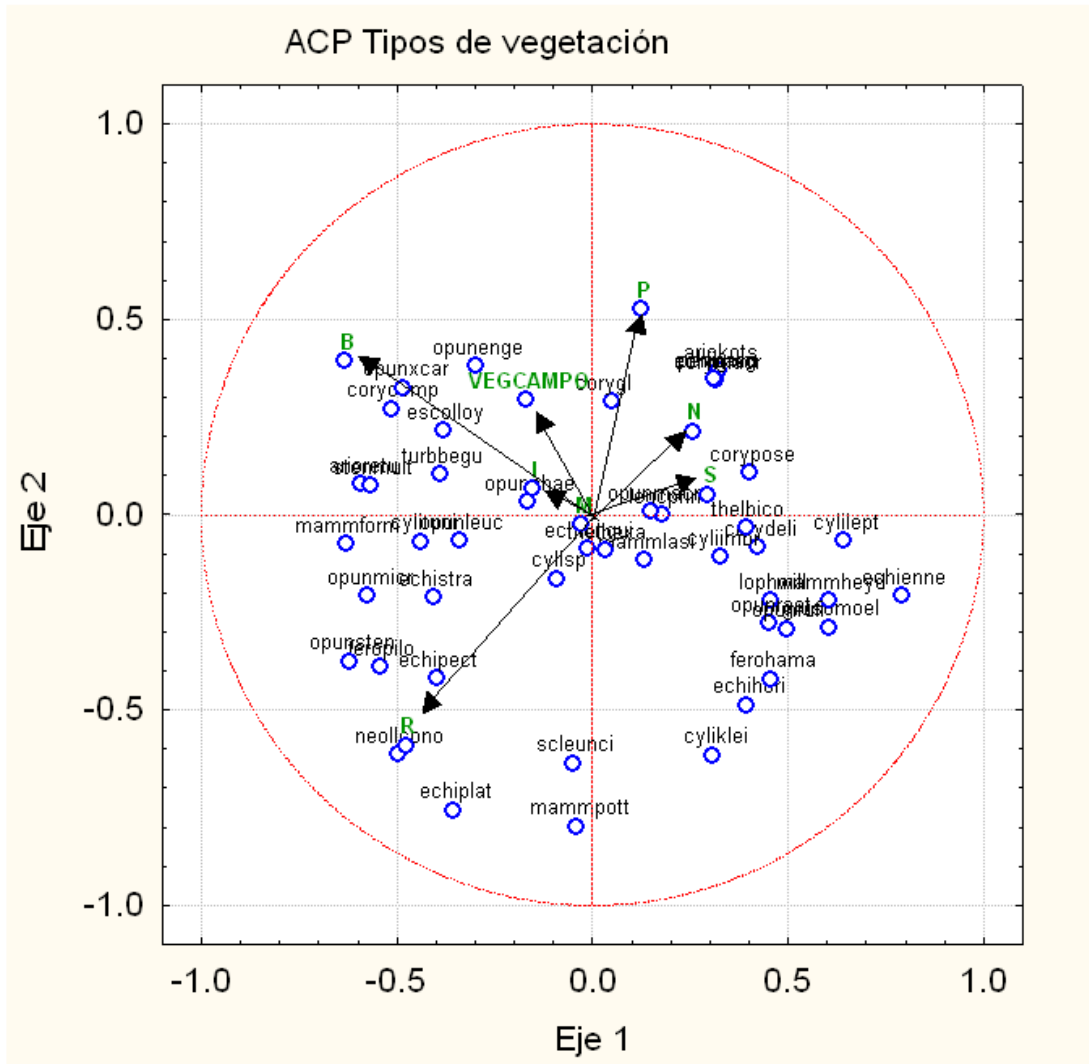


Figura xxiv – Diagrama de ordenación bipolar que muestra la asociación de los taxa de Cactaceae en función de los tipos de vegetación. Eje 1 vs eje 2.

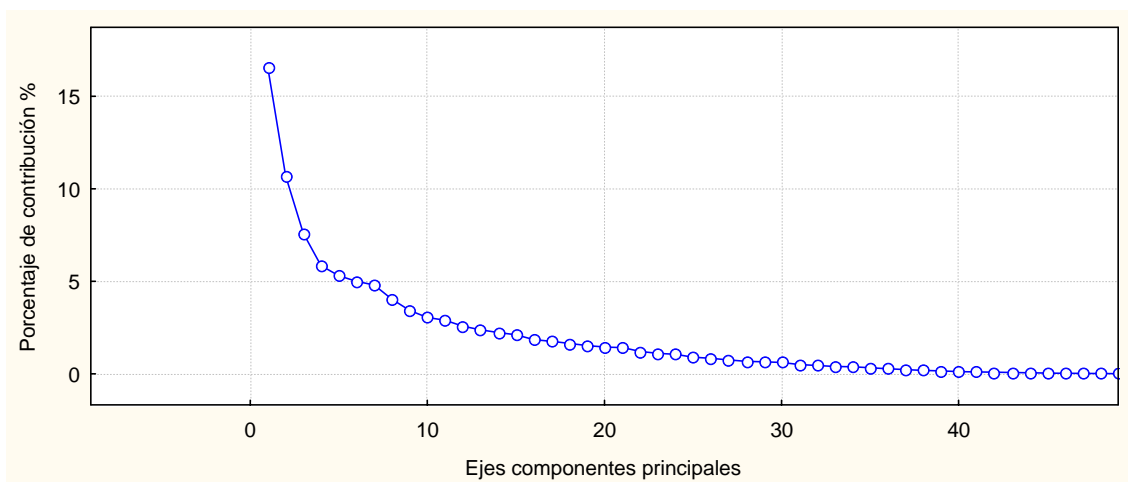


Figura xxv – Contribución de los ejes componentes principales a la explicación de la varianza total en el ACP presentado en la figura xxiv.