



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL GÉNERO *OPUNTIA*
(CACTACEAE) EN MÉXICO**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

BIÓL. SANDRA ESPARZA SANDOVAL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ANTONIO REYES AGÜERO

COMITÉ TUTELAR:

DR. JOSÉ LUIS FLORES FLORES

DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.

SEPTIEMBRE DE 2010



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL GÉNERO *OPUNTIA*
(CACTACEAE) EN MÉXICO**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

BIÓL. SANDRA ESPARZA SANDOVAL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ANTONIO REYES AGÜERO

SINODALES:

PRESIDENTE:

DR. JUAN ANTONIO REYES AGÜERO

SECRETARIO:

DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

VOCAL:

DRA. LAURA YÁÑEZ ESPINOSA

Las firmas manuscritas de los miembros del sinodo se encuentran sobre líneas horizontales. La firma superior es la de Carlos Contreras Servín, y la inferior es la de Laura Yáñez Espinosa.

PROYECTO REALIZADO EN:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS

CON FINANCIAMIENTO DE:

**DURANTE LOS ESTUDIOS DE MAESTRÍA LA AUTORA DE ESTA TESIS FUE FINANCIADA POR
EL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)
BECA-TESIS (CONVENIO 209066)**

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES ESTÁ INCLUIDA EN EL PADRÓN NACIONAL DE
POSGRADOS DE CONACYT**

Agradecimientos

Esta etapa de estudiante de maestría en especial la dedico con todo mi respeto y amor, a mi amado esposo Thomas Hergt, ya que sin tu apoyo incondicional en todos los aspectos no hubiera logrado llegar al final, gracias por tu amor, amistad, compañerismo, paciencia y estímulo para seguir adelante. Confío en seguir caminando juntos por mucho tiempo.

A mis hijos Zafiro Stefanie y Paul Fernando, mis dos grandes amores en la vida, por todos nuestros momentos juntos y el tiempo que no pude estar con ustedes.

A mis padres Laura e Hilario y hermanas Laura y Ale por apoyarme en los momentos difíciles, con mi familia, de salud y darme ánimos para continuar.

Un agradecimiento especial por su gran paciencia para conmigo, tolerancia, apoyo y amistad, a mi tutor el Dr. Juan Antonio Reyes Agüero, gracias por haber sido parte de esta etapa en mi desarrollo profesional.

Gracias al Dr. José Luís Flores y a su esposa Lupita por su amistad.

A CONABIO-REMIB, por proporcionarme la base de datos sobre *Opuntia*, la cual forma parte de importante de mi base de datos.

A mis asesores, por sus aportes y sugerencias; gracias por formar parte del equipo Dr. José Luis Flores Flores, Dr. Carlos Contreras Servín y Dra. Laura Yáñez Espinosa.

Gracias al área de recursos naturales en especial al Instituto de Investigación en Zonas Desérticas, sus profesores y personal, por su tiempo e instalaciones.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada, durante los estudios de maestría.

Al Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales (PMPCA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), por la oportunidad de participar en su programa y los conocimientos que adquirí. Así como a sus coordinadores en turno, Dr. J. Antonio Reyes Agüero y Dra. María Deogracias Ortiz Pérez; y personal de apoyo, Maricela y Lorena.

A mis compañeros y nuevos amigos de generación por los momentos compartidos.

Contenido

Índice de Cuadros	i
Índice de Figuras.....	ii
Abstract	iv
1. Introducción.....	1
1.1 Justificación y objetivo	5
2. Antecedentes	6
2.1. Las Opuntioideae	6
2.2. Área de estudio	8
2.2.1. Litología	8
2.2.2. Tectónica general de México y paleogeografía.	9
2.2.3. Fisiografía	15
2.2.4. Clima.....	16
2.2.5. Suelos.....	18
2.2.6. Vegetación de México.....	21
2.3. Bases de Datos Naturales (BDN).....	24
3. Análisis multivariable	27
4. Metodología.....	30
5. Resultados	37
5.1 Aspectos descriptivos	37
5.1.1. Generales	37
5.1.2. Geográficos	38
5.2. Ordenación	43
5.2.2. Ordenación de especies de <i>Opuntia</i> con base en su distribución en las provincias fisiográficas.....	46
5.2.3. Ordenación de los factores ambientales con base en su composición de especies de <i>Opuntia</i>	48
5.3. Clasificación	54
5.3.1 Clasificación de las provincias fisiográficas con base en su composición de especies de <i>Opuntia</i>	54

5.3.2 Clasificación de las especies de <i>Opuntia</i> con base en su distribución en las provincias fisiográficas	57
6.1 Aspectos descriptivos y geográficos	58
6.2 Distribución de <i>Opuntia</i> con base a gradientes latitudinales	63
6.3. Patrones de distribución.....	66
7. Conclusiones.....	71
8. Literatura citada.....	74
Anexo I. proyectos CONABIO, de los cuales se utilizaron datos para <i>Opuntia</i>	88

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Términos relacionados con fitogeografía. Modificado de Wulff (1943) y De la Torre (2009).	3
Cuadro 2. Riqueza de <i>Opuntia</i> en México.....	4
Cuadro 3. Grupos climáticos, tomado de García, Enriqueta (1973).	16
Cuadro 4. Comparación de la nomenclatura de tipos de vegetación (modificado de González, 2003).	22
Cuadro 5. Algunos Sistemas de Información Biológica (SIB) en la Web.....	25
Cuadro 6. Objetivos de la ordenación y clasificación, modificado de Alcaraz, 2009 y con base en Aguirre, 1989.....	28
Cuadro 7. Fuentes de información para la elaboración de la base de datos primaria.	30
Cuadro 8. Datos vectoriales utilizados para la BDI, escala 1: 1,000, 000 INEGI...	31
Cuadro 9. Estructura de la base de datos secundaria.....	31
Cuadro 10. Especies de <i>Opuntia</i> utilizadas en la ordenación y clasificación.	32
Cuadro 11. Provincias Fisiográficas.	34
Cuadro 12. Variables ambientales utilizadas en la ordenación.	35
Cuadro 13. Resumen DCA para todos los datos.....	44
Cuadro 14. Correspondencias asociadas a las variables ambientales significativas en la ordenación DCA para los dos primeros ejes.	49

Índice de Figuras

Figura 1. Placas tectónicas de México.	10
Figura 2. Provincias fisiográficas, basada en INEGI.	16
Figura 3. Cantidades relativas de recolectas de <i>Opuntia</i> realizadas entre los años 1897 a 2005.....	38
Figura 4. Porcentaje de esfuerzo de recolecta y riqueza de <i>Opuntia</i> en las provincias fisiográficas.	39
Figura 5. Correlación r^2 , entre riqueza y esfuerzo de recolecta.....	40
Figura 6. Intervalos de altitud y su respectivo esfuerzo de recolecta y riqueza para <i>Opuntia</i>	41
Figura 7. Zona geográfica con mayor y menor riqueza	42
Figura 8. Ordenación de las provincias fisiográficas, con base en su composición de especies de <i>Opuntia</i>	46
Figura 9. Ordenación de especies de <i>Opuntia</i> con base su distribución en las provincias fisiográficas.	47
Figura 10. Regionalización de los grupos climáticos en México.....	49
Figura 11. Ordenación (DCA) de variables ambientales con respecto a sitios (UGOs) y especies de <i>Opuntia</i>	50
Figura 12. Ordenación de las especies de <i>Opuntia</i> en relación con las variables ambientales de mayor significancia.....	50
Figura 13. Dendrograma de los grupos de provincias fisiográficas de México por TWISPAN, con base en su composición de especies de <i>Opuntia</i>	54
Figura 14. Clasificación de especies de <i>Opuntia</i> con base a su distribución en las provincias fisiográficas.	57

Resumen

El género *Opuntia* (*sensu stricto*) tiene en México la mayor riqueza de especies. Ha sido objeto de diversos trabajos pero se carece de estudios que analicen su distribución geográfica. El objetivo del presente estudio fue analizar la distribución geográfica y ecológica del género en el nivel nacional, usando como base las provincias fisiográficas (escala 1:1000 000) para obtener los patrones de distribución de *Opuntia* y los posibles factores ambientales que los determinan, mediante análisis multivariable. Para ello se integró una base de datos con las especies mexicanas del género, localidades de recolecta y atributos ecológicos de dichas localidades. La información se derivó de la revisión de especímenes de los herbarios CHAPA, IEB, IBUG, MEXU y SLP. Esta información se enriqueció con información de la base de datos SNIB-BIOTICA, de la CONABIO, para *Opuntia*. Se registró información de 60 de las 76 especies del género.

Las especies se ordenaron con base en gradiente predominantemente climático latitudinal, en dirección noroeste a sureste y un gradiente longitudinal climático de noroeste a noreste. Además, se encontró que las provincias con mayor riqueza de especies son las Sierras Madres, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico.

Con base en la clasificación Se encontraron tres grandes patrones de distribución: 1) Noroeste-Noreste de México, 2) Sierras Madre-Centro de México y 3) Sur de México. El patrón uno, a su vez se subdividió en los subpatrones; 1.1) Baja California, 1.2) Noreste de México y 1.3) Norte-Norte de México.

Abstract

The genus *Opuntia* (*sensu stricto*) has in Mexico the greatest richness. The genus has been subject of various studies, but is missing a review about its geographical distribution considering physiographic information and the possible environmental factors related to the distribution patterns. The objective of this study was to analyze the national distribution of this genus based in physiographic provinces (1:1000, 000 scale), derive the distribution patterns of *Opuntia* and to infer the possible environmental factors involved, using multivariate analysis. To this end, a database was constructed including the check-list of the genus in Mexico, collecting localities and geographical and environmental variables of from the same sites, derived from digital maps database. This information was obtained by an exhaustive specimen review of at the herbaria CHAPA, IEB, IBUG, MEXU and SLP. This information was enriched with geographical data obtained from the SNIB-BIOTICA, from CONABIO database, according to collecting site location. It was included information of 60 species.

The species were ordered mainly on a climatic gradient, related to latitude, going in a northwest – southeast direction. Another similar longitudinal gradient goes from NW – NE. In addition, it was found that the provinces with the greatest species richness are Sierras Madre ranges, Mesa del Centro and Eje Neovolcánico. Using classification, three main distribution patterns were inferred: 1) northwest-northeast of Mexico, 2) Central Mexico-Sierras Madre ranges of Mexico and 3) South of Mexico. At the same time the one pattern is subdivided in; 1.1) Baja California, 1.2) Northwest of México y 1.3) North-North of México.

1. Introducción

El creciente interés mundial a fines del siglo XX, por la biodiversidad, resaltó dos hechos básicos: 1) el conocimiento de la biodiversidad es incompleto y 2) la extinción masiva de táxones. Debido a ello, surgió la necesidad de un mayor conocimiento sobre la biodiversidad que permita su adecuada catalogación, conservación y uso sustentable (Dirzo, 1990; Llorente y Castro, 2002). El grado de diversidad biológica varía de un lugar a otro del mundo, pero se reconocen algunas naciones como megadiversas, debido a su alta riqueza (cantidad de especies). México es uno de esos países, pues ocupa el cuarto lugar en riqueza vegetal (CONABIO, 2006; Luna, 2008). La mayor amenaza para esta riqueza es la pérdida de hábitats, de ahí la importancia de conocer dónde están las poblaciones actuales y potenciales de los diferentes táxones (Ramamoorthy *et al.*, 1998; Llorente y Castro, 2002).

Así, la distribución de los táxones y sus patrones de distribución, son una herramienta de diagnóstico básica para la adecuada gestión de la biodiversidad, para apoyar la implementación de metodologías y políticas de conservación de dicha biodiversidad (Morrone, 2000; Llorente y Castro, 2002). Los inventarios taxonómicos son la base de esa herramienta, sustentados científicamente con evidencias, a través de la recopilación, síntesis, análisis y presentación de información; que pueden ser utilizados documentando patrones de distribución en diferentes escalas espaciales y temporales; a la vez, dichos patrones pueden ser retroalimentados con base en nueva información (Moreira, 1996; Escalante *et al.*, 2000; Morrone, 2000; Guarino *et al.*, 1995; Nogués, 2003; Arroyo, 2004; Graham *et al.*, 2004; Lira *et al.*, 2007; Koleff y Soberón, 2008; Liria, 2008; Soberón *et al.*, 2008).

En México, el desarrollo de estudios de patrones espaciales y de distribución de plantas se ha desarrollado poco aún en el nivel nacional (Dávila *et al.*, 2002; Guzmán *et al.*, 2007; Golubov y Mandujano, 2005; Ortegay Peterson, 2008), y con mayor referencia a escala estatal o regional (Gonzalez, 1989; Puente, 1995;

Reyes y Aguirre, 1999; Espadas *et al.*, 2003; Balleza *et al.*, 2005; Martínez y Jurado, 2005; Contreras *et al.*, 2007; Juárez *et al.*, 2007; Luna, 2008; Mora *et al.*, 2008).

El estudio de la distribución geográfica de plantas y los patrones que los generan, son parte de la fitogeografía o geobotánica la cual es una rama de la biogeografía (Aguirre, 1989); y ha sido utilizada en tres contextos principales: florístico, ecológico e histórico (Cuadro 1). Así, el área de distribución de un taxon es definida en sentido amplio como el elemento básico de todo estudio y toda investigación en biogeografía. El área de distribución de una especie se conoce “...como aquella fracción del espacio geográfico en el que tal especie está presente e interactúa de manera no efímera con el ecosistema, en todos sus componentes” (Zunino, 2000).

De manera general, los trabajos fitogeográficos en México se han desarrollado con tres objetivos principales: 1) explicar el origen de su flora; 2) reconocer el origen y la distribución de los elementos endémicos; e 3) hipotetizar escenarios de cómo se llevó la dispersión de los taxones para llegar a ocupar el lugar en que ahora habitan (Luna, 2008). Entre los trabajos sobre la biogeografía de plantas en México están los de Rzedowski (sintetizados en Luna, 2008).

Entre los grupos de plantas de mayor importancia y diversidad de México están las cactáceas (Hernández y Godínez, 1994; Mandujano *et al.*, 2002; Godínez y Ortega, 2007; Rojas y Arias, 2007); y dentro de éstas un taxon de gran importancia biológica, cultural, económica y social es el género *Opuntia* (Puente, 1992; Hernández y Godines, 1994; Kiesling, 1998; González *et al.*, 2001; Mandujano, 2002; Mondragón y Pérez, 2003; Aguilar *et al.*, 2004; Reyes *et al.*, 2005^a, 2209).

Cuadro 1. Términos relacionados con fitogeografía. Modificado de Wulff (1943) y De la Torre (2009).

Autores	Ramas de la geografía de plantas o fitogeografía		
	Florístico	Ecológico	Histórico
Willdenow (1972)	Historia de las plantas	Historia de las plantas	Historia de las plantas
Stromeyer (1800)	Geografía vegetal	Fito-geografía	Historia geográfica vegetal
Humboldt (1807)	Geografía de plantas	Geografía de plantas	Geografía de plantas
De Candolle; Aug. (1820)	Geografía botánica	Geografía botánica	Geografía botánica
Schouw (1822)	Geografía de plantas	Geografía de plantas	Historia de las plantas
De Candolle, Alphonse (1855)	-----	-----	Geografía botánica "razonada" (epiontología)
Grisebach(1866)	Topogeografía botánica	Climatología geobotánica	Geología botánica
Drude (1890)	Topogeografía geobotánica Fisonomía vegetal	Climatología geobotánica	Geología botánica
Engler (1899)	Geografía de plantas florística	Geografía de plantas fisiológica	Desarrollo de la historia de la geografía de plantas
Diels (1908)	Geografía de plantas florística	Geografía de plantas ecológica	Geografía de plantas genética

Graebner (1910)	Geografía de plantas florística	Geografía de plantas ecológica	Geografía de plantas genética
Schröler (1913)	-----	-----	Geografía de plantas genética o epiontología
Rübel (1922)	Geobotánica corológica	Geobotánica ecológica	Geobotánica genética
Hayek (1926)	Geografía de plantas florística	Geografía de plantas ecológica	Desarrollo de la historia de la geografía de plantas
Huguet del Villar (1929)	Geobotánica	Geobotánica ecológica	-----
Wiegleb (1989)	Ciencia de la vegetación	Ciencia de la vegetación	Ciencia de la vegetación
Ehrendorfen (1994)	Geobotánica	Geobotánica	Geobotánica

Continuación del cuadro 1

La riqueza de *Opuntia* para México varía ampliamente (Cuadro 2), debido, según los autores, a su complejidad taxonómica, evolución convergente en caracteres vegetativos, hibridación, poliploidia, síndromes de polinización y procesos de domesticación (Bravo, 1978; Cota y Wallance, 1996; Rebman y Pinkava, 2001; Reyes *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Riqueza de *Opuntia* en México.

Autores	Britton y Rose (1937)	Bravo (1978)	Hunt (1999)	Anderson (2001)	Guzmán <i>et al.</i> (2003)	Scheinvar <i>et al.</i> (2009)
Especies	58	66*	93	181	83 **	89

*Más 34 infraespecies, **Más 8 infraespecies

La importancia del género *Opuntia* también se revela porque ha sido objeto de estudios en varios aspectos: anatomía, bioquímica, conservación, distribución en áreas naturales protegidas, diversidad, domesticación, ecología, genética, morfología, propiedades físicas, riqueza, sistemas de producción, sistemática, etc. (Bravo, 1978; Hernández y Godínez, 1994; Anderson, 2001; González *et al.*, 2001; Juárez y Passera, 2002; Borgen, *et al.* 2005; Golubov *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2005a, 2009; Gallegos *et al.*, 2006; García *et al.*, 2006; Peña *et al.*, 2008; Scheinvar *et al.*, 2009).

1.1 Justificación y objetivo

A la fecha aún se carece de un estudio en el nivel nacional, que identifique los patrones de distribución geográfica en *Opuntia* y los posibles factores ambientales que los determinan. Por ello, en el presente estudio el objetivo principal es analizar la distribución geográfica del género *Opuntia* (*sensu stricto*, es decir, sólo las especies incluidas en el antiguo subgénero *Platyopuntia*, excluyendo las de *Cylindropuntia*) (Britton y Rose, 1937; Bravo, 1978) en México. De manera particular, el presente estudio se completará con la descripción de los patrones de distribución de *Opuntia* (*sensu stricto*) y sus posibles relaciones con algunos factores ambientales.

2. Antecedentes

2.1. Las Opuntioideae

La subfamilia Opuntioideae es la más diversa en la familia Cactaceae; en ella se ubica el género *Opuntia*. México es el más importante centro mundial de riqueza del género (Schumann, 1899; Bravo, 1978; Flores *et al.*, 1995; Anderson, 2001; Mandujano *et al.*, 2002; Guzmán *et al.*, 2007; Reyes *et al.*, 2005a). *Opuntia*, se distribuye latitudinalmente desde Alberta, Canadá, hasta La Patagonia, Argentina; y longitudinalmente desde las Islas del Caribe, a las de Islas Galápagos (Anderson, 2001; Reyes *et al.*, 2006; Cota , 2008); además, existen especies introducidas y naturalizadas en la cuenca del Mediterráneo, África, Asia y Oceanía (Kiesling, 1998; Reyes *et al.*, 2005a; Reyes *et al.*, 2006; Guillot y Der, 2006).

Opuntia se localiza desde el nivel del mar y hasta los 3,400 msnm; es una planta suculenta, con adaptaciones morfológicas y fisiológicas relacionadas con su metabolismo ácido de las crasuláceas o CAM (por sus siglas en inglés); por ello es común encontrar sus especies, principalmente, en ambientes secos, ya sean zonas áridas, semiáridas o selvas caducifolias (Rzedowski , 2006; Rebman y Pinkava, 2001; Cota , 2008; Peña *et al.*, 2008).

Las Opuntioideae son consideradas monofiléticas (Edwards *et al.*, 2005; Edwards y Donoghue, 2006; Butterworth y Edwards, 2008; Griffiths y Porter, 2009); sin embargo, Griffiths y Porter (2009) mencionan específicamente que *Opuntia* no parece circunscrito a grupos monofiléticos, por lo que se requieren más estudios sobre su evolución, que ayuden a determinar adecuadamente su linaje basal. Se postula, en consenso general, sobre la base de datos morfológicos y genéticos, que el linaje basal a partir del cual se derivaron las Opuntioideae es el de *Pereskia* (Rebman y Pinkava, 2001; Edwards *et al.*, 2005; Mauseth, 2005; Edwards y Donoghue, 2006; Butterworth y Edwards, 2008); pero Griffiths y Porter (2009) proponen el de *Austrocylindropuntia*.

Se han propuesto diferentes hipótesis sobre la divergencia inicial de las Opuntioideae. Sobre su origen geográfico se ha postulado: 1) el norte de Suramérica (Rebman y Pinkava, 2001; Nyffeler , 2002); y 2) la región centro-oeste Andina o sur de Suramérica (Edwards *et al.*, 2005; Edwards y Donoghue, 2006; Griffiths y Porter, 2009). Su origen temporal es difícil de estimar, debido a la falta de evidencia fósil, lo cual es indispensable para calibrar el reloj molecular, y con ello determinar su divergencia (Nyffeler, 2002; Gorelick, 2008). Para las cactáceas se propone su origen hace 90-110 millones de años (Ma) (Rebman y Pinkava, 2001) o entre 65-90 Ma, en el Cretácico superior (Nyffeler , 2002); sin embargo, evidencias moleculares postulan un origen más reciente, más o menos 30 Ma, (Nyffeler , 2002). La gran diferencia entre las secuencias moleculares de los diferentes táxones de cactáceas, dificulta adecuar el reloj molecular (Nyffeler, 2002; Cota , 2008).

En cuanto a evidencia paleobotánica específica para *Opuntia* se han encontrado restos de semillas y restos de cascara del fruto de 8,800-14,000 años (Bravo, 1978; Flannery, 1985; Kiesling 1998, Casas, 2002), y entre 5000-7500 años (Mondragón y Pérez, 2003).

A la fecha, la distribución de *Opuntia* ha sido mencionada como parte de la descripción de las especies en los tratados sobre cactáceas (Bravo, 1978; Anderson, 2001; Guzmán *et al.*, 2007); se ha analizado su distribución potencial y diversidad alfa y beta mediante el modelo GARP a escala 1:4,000,000 (Golubov *et al.*, 2005); por su parte, Reyes y Aguirre (2006) determinaron patrones de distribución para el subgénero *Opuntia* utilizando unidades orogénicas y regiones geomorfológicas de Tamayo (1988) basados en revisión bibliográfica; mientras que Scheinvar *et al.*, (2009) determinaron la distribución del género en áreas naturales protegidas en México y su distribución estatal.

2.2. Área de estudio

México se ubica en la latitud norte, entre las coordenadas extremas 14° 32' 27'' (desembocadura del río Suchiate, frontera con Guatemala) y 32° 43' 06'' (Monumento 206, en la frontera con los Estados Unidos de América); y en la longitud oeste, entre las coordenadas extremas 86° 42' 36'' (extremo sureste de la Isla Mujeres) y 118° 22' 00'' (Roca Elefante de la Isla de Guadalupe); cuenta con una extensión de 1,964,375 km², de los cuales 1,959,248 km² son continentales y 5,127 km² son insulares (INEGI, 2009). En su parte media (23° 27' 00'') lo atraviesa la línea del Trópico de Cáncer.

2.2.1. Litología

La composición geológica de México abarca la mayoría del espectro lítico; es diversa y compleja, resultado de múltiples procesos tectónicos que la han afectado durante toda su evolución. Existen: 1) **rocas sedimentarias** que se remontan desde el Proterozoico al Cenozoico; predominan en los estados Chihuahua, Sonora, Baja California, y Sinaloa; con presencia en partes de Nuevo León, Durango, Sinaloa, San Luis Potosí, Veracruz; Querétaro, Hidalgo, Puebla, Península de Yucatán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. 2) **rocas volcánicas sedimentarias** del Paleozoico (Coahuila), Mesozoico (norte y centro de México, en el límite de Veracruz-Oaxaca y sur del Pacífico mexicano) y Cenozoico (Chihuahua, Sonora, península de Baja California, Sinaloa, Bajío guanajuatense, noroccidente de Toluca, zona central de Guerrero y región Mixteca). 3) **rocas ígneas extrusivas** del Mesozoico (Chihuahua, parte de Sonora, Complejo San Andrés-Cedros, en Baja California; Durango, Sinaloa, occidente de Guanajuato, Gto.); Cenozoico (parte de Coahuila, parte de la provincia Sierra Madre Occidental, parte nororiental de la ciudad de San Luis Potosí, región limítrofe San Luis Potosí-Guanajuato-Zacatecas, sur de Aguascalientes, provincia Sierra Madre Oriental, región central de México; planicie Costera del Golfo; Faja Volcánica Transversal, Sierra Madre del Sur y Arco Volcánico Chiapaneco). 4) **rocas ígneas**

intrusivas del Proterozoico (Sonora); Paleozoico (Chihuahua, norte de Sonora, Coahuila, Veracruz, Oaxaca y Chiapas); Mesozoico (Chihuahua, partes de Sonora, Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Puebla, Edo. de México, Guerrero, Michoacán); Cenozoico (noroccidente de México, Baja California Sur, región central de México, litoral del Golfo al oriente de la Sierra Madre Oriental, algunas partes de Chiapas) y 5) **rocas metamórficas** del Proterozoico (Chihuahua, partes de Sonora, afloramientos de Tamaulipas a Oaxaca con orientación norte-sur; zona costera del sur de Guerrero-Oaxaca y sur de Chiapas); Paleozoico (Zacatecas, parte de Puebla y Oaxaca); Mesozoico (parte de Sonora, margen oriental de Baja California, Durango, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí; Morelos, Puebla, Guerrero, Michoacán, Oaxaca) (Salinas *et al.*, 2007).

2.2.2. Tectónica general de México y paleogeografía.

La configuración geográfica actual de México es consecuencia de la interacción de cinco placas tectónicas: 1) la de Norteamérica, con desplazamiento hacia el suroccidente; 2) la del Pacífico oriental, con desplazamiento hacia el noroeste; 3) la de Cocos y 4) Rivera, ambas con desplazamiento hacia el noreste, y 5) la del Caribe, desplazándose hacia el oriente franco (Figura 1). El área continental se encuentra sobre la placa de Norteamérica, excepto la porción suroeste de Chiapas asentada en la Placa del Caribe. En México existe una trinchera oceánica (Trinchera de Acapulco o Mesoamericana), que se extiende desde la boca del Golfo de Baja California, hasta el extremo sur del país, en Chiapas, a lo largo de la costa del Pacífico. La Faja Volcánica Transmexicana contiene elementos de tierras emergidas antiguas, los cuales se ensamblaron en el sur de México durante varios eventos tectónicos (Aguayo y Trápaga, 1996).

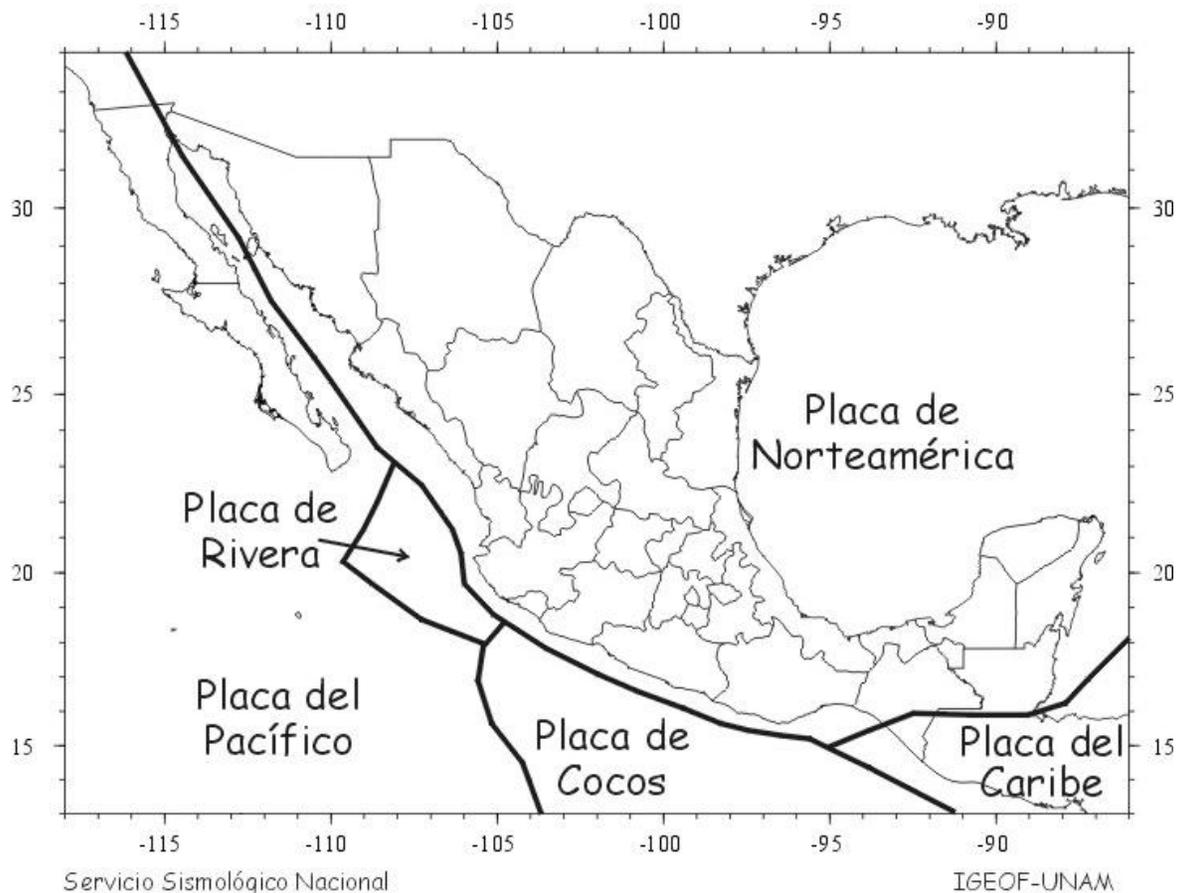


Figura 1. Placas tectónicas de México.

Tomado de: <http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/MexicoTectonica.jpg> (2010).

En cuanto a la paleogeografía de México no hay un consenso general, a pesar haber diversos estudios (López, 1981; Iturralde, 2004; Aguayo, 2005; Nieto *et al.*, 2005). A continuación se presenta una síntesis de los principales eventos tectónicos y paleogeográficos en México.

1) Provincia magmática Californiana o Pacífica: el origen de esta provincia data del Jurásico Superior (145 Ma), con la formación de un arco insular de origen magmático; durante el Cretácico Inferior este arco volcánico cálcico-alcalino, denominado Formación “Alisitos-Teloloapan”, se originó por la subducción entre la Placa Farallón y la Placa Norteamericana. En el Cretácico Superior (65 Ma) hubo intrusión de batolitos en la hoy Baja California. Durante el Eoceno-Mioceno

Temprano (55-20 Ma) desapareció casi por completo la Placa Farallón por subducción en la Placa Norteamericana; posteriormente, la Placa Pacífico, comenzó un proceso de subducción en la Placa Norteamericana y originó la fractura de ambas placas. En el Mioceno Medio (15-11 Ma), la diferencia en la dirección de fricción de las Placa Pacífico y Placa Norteamericana, causó gran tensión entre ambas. La Placa Pacífico empujó la orilla occidental de la Placa Norteamericana, que estaba pegada a ella, lejos del resto de Norteamérica, esto causó que una franja de tierra, localizada al este de la costa, descendiera, formando un valle con una falla, en el que se depositaron sedimentos marinos y volcánicos, dando origen a una Trinchera Oceánica (Trinchera de Acapulco o Mesoamericana). En el Mioceno Tardío (10-5 Ma) se originó el Proto-Golfo de California, en el Plioceno (5 Ma), la Placa de Farallón desapareció completamente debajo de la Placa Norteamericana; el Golfo de California se desarrolló por fallamiento dextral y expansión (la falla de San Andrés y otras fallas, comenzaron durante esta época), desarrollando una zona de hendidura profunda (tipo Rift) llamada Golfo de California-Sistema San Andrés (Demant y Robin, 1975; Helenes y Carreño, 1999).

2) Provincia Sierra Madre Occidental (SMOc): esta provincia paleogeográfica es el resultado de diferentes episodios magmáticos y tectónicos durante la deformación Larámide del Cretácico-Cenozoico; asociados a la subducción de la Placa Farallón debajo de la Placa Norteamericana y a la apertura del Golfo de California. Entre el Cretácico Superior y el Paleoceno (70-60 Ma) inició el vulcanismo andesítico en Sinaloa; durante el Eoceno-Oligoceno (55-28 Ma) se tuvo la actividad máxima al nivel de la Cordillera Andesítica, y la migración de los cuerpos intrusivos hacia el este, en la mitad de la SMOc; en el Mioceno Temprano-Medio (23-11 Ma), la extensión migró hacia el oriente, con emisiones ignimbríticas a lo largo de la costa occidental. En el Mioceno Tardío (10-5 Ma) la extensión se concentró en la parte adyacente al Golfo de California; durante el Plioceno-Cuaternario (5-0 Ma), los basaltos alcalinos cubrieron ignimbritas en

Durango, Zacatecas y Sonora y se relacionan con la formación de bolsones (Demant y Robin, 1975; Ferrari *et al.*, 2005).

3) Provincia Mesa Central (MC): desde el Oxfordiano (106 Ma) hasta el Cretácico Tardío (70 Ma) prevalecieron, en la MC, condiciones marinas, con tres plataformas de depósitos litológicos diferentes; a) plataforma Valle-San Luis Potosí (PVSL); b) la Cuenca Mesozoica del Centro de México; y c) una Discordancia volcano-sedimentaria marina. A partir del Cenozoico (65 Ma) comenzó la elevación de la Mesa Central, coincidiendo con la deformación extensional provocada por la orogenia Larámide; que simultáneamente dio lugar a una fase extensional, que prevaleció durante todo el Oligoceno (33-25 Ma), presentando vulcanismo en el Mioceno (20-5 Ma), que finalizó en el Plioceno, aproximadamente (2 Ma) (Nieto *et al.*, 2005).

4) Provincia Sierra Madre Oriental (SMOr): la provincia se originó por la deformación contractiva de rocas mesozoicas y de su complejo basal durante la orogenia Larámide, las cuales fueron levantadas, comprimidas y transportadas hacia el noroeste, formando pliegues y cabalgaduras, por lo que su levantamiento y fallamiento se proponen en el Eoceno Tardío (35 Ma) (Eguiluz *et al.*, 2000).

5) Faja Volcánica Transmexicana (FVTM): esta Faja es resultado de los diferentes eventos tectónicos convergentes, considerados de los más complejos del planeta, por lo cual es difícil determinar su origen exacto; siendo el centro de controversias en la geología mexicana. La Faja se originó como un arco magmático continental que formaba parte de la SMOc. A partir del Oligoceno Tardío (25 Ma) inició la actividad volcánica, en especial la parte este del arco (dacitas-andesitas). Durante el Mioceno Medio y Tardío (15-5 Ma) hubo una gran actividad importante en todo el eje Neovolcánico (dacitas), formándose propiamente la Faja, producto de una rotación, en dirección contraria a las manecillas del reloj, del arco magmático (SMOc), con una evolución geológica que data del Mioceno Medio y Tardío (15-5 Ma), con tres episodios principales: **a)** instauración de arco de composición intermedia entre rocas magmáticas maficas y silíceas; **b)** un episodio máfico; y **c)** un episodio silíceo a partir del Plioceno (5-2

Ma) y otro en el Plioceno Tardío (2 (Ma), con la reinstauración de un arco magmático de diferente composición (Demant y Robin, 1975; Gómez *et al.*, 2005).

6) Provincia Sur de México: La deformación contráctil del sur de México ha sido relacionada con la orogenia Larámide de la Cordillera Norteamericana, sin embargo, la o las causas que produjeron dicha deformación son todavía argumento de discusión (Martini, 2008). Esta provincia se separa en dos partes: la porción suroccidental y la suroriental. En relación con la primera, la ruptura del margen continental y la deformación orogénica, producto de la revolución Larámide, dio origen a diferentes eventos tectónicos del Cretácico Superior al Cenozoico (88-23 Ma). El primer evento tectónico fue un acortamiento de las sucesiones volcano-sedimentarias mesozoicas del arco(s) magmático(s) producto de la orogenia Larámide, la deformación asociada migró, del oriente de la Plataforma Guerrero-Morelos (PGM) a las costas de Veracruz; el segundo evento fue un acortamiento menor que plegó suavemente la PGM entre el Paleoceno y el Eoceno temprano (65-45 Ma); el tercer evento fue un acortamiento NE-SO, perpendicular a la costa del Pacífico entre el Eoceno y el Oligoceno (55-25 Ma); y el cuarto evento, un alargamiento, perpendicular a la costa suroeste por tensión desde la región de Taxco, hasta Oaxaca, que ocurrió del Oligoceno al Cuaternario (33-2 Ma) (Santamaría-Díaz *et al.*, 2008). En lo referente a Chiapas, que formaba parte del bloque Yucatán, durante el Oligoceno (28 Ma) estaba sumergido en el mar, por lo que continuó el depósito de clásticos en todo el sureste mexicano, hasta el Mioceno temprano (15 Ma), pero entre el Mioceno medio y el Plioceno temprano (15-3 Ma), ocurrió la máxima etapa de deformación que plegó y cabalgó las rocas de la cadena de Chiapas-Reforma-Akal, elevando la Sierra de Chiapas (Padilla y Sánchez, 2007). En relación con la segunda división de esta provincia, porción suroriental de México, es consecuencia en tiempo y espacio de los movimientos tectónicos de cinco placas mayores: la Norteamericana, Kula, Farallón, la de Cocos y la del Caribe; los movimientos entre ellas ocasionaron la acumulación de entre 12-14 km de sedimentos marinos hasta el Cretácico Tardío (70 Ma), y posteriormente de continentales (clásticos producto de la Larámide u

otros eventos tectónicos), desde el Paleoceno al Mioceno Tardío (65-15 Ma), causando plegamientos y compresiones en diferente tiempo y espacio, que junto con los diferentes sistemas de fallas originó paleo-islas en el oriente (isla de Tamaulipas, Coahuila, pequeñas áreas de Tampico, Macizo de Teziutlán, Macizo de Chiapas y el Bloque de Yucatán), variando la evolución tectono-sedimentaria, con grandes secuencias de transgresiones y regresiones del mar en diferentes épocas: Trasgresión durante el Mesozoico, regresión durante el Paleoceno, regresión durante el Neógeno, regresión y transgresión durante el Pleistoceno-Holoceno tardío y estabilidad actual desde el Holoceno (115 mil años antes). Durante el Mioceno-Plioceno Inferior (15-5 Ma), el bloque de Yucatán se desplazó al norte, en sentido dextrógiro, hasta su posición actual (Aguayo, 2005; Padilla y Sánchez, 2007).

Además de las provincias paleogeográficas descritas, es de interés geobotánico mencionar las conexiones del actual territorio de México, con Centro y Suramérica. Las conexiones con la primera se interrumpieron y establecieron más de una vez, en diferentes épocas del Cretácico y del Cenozoico (Rzedowski, 2006). El primer archipiélago de islas en el área del Caribe sucedió entre el Jurásico y el Cretácico (≈ 141 Ma), pero aquellas tierras emergidas fueron generalmente efímeras, ya que se sumergieron apenas unos pocos millones de años después; y si acaso soportaron alguna biota, esta desapareció junto con las islas. Sólo a partir del Eoceno Medio (≈ 40 Ma) han existido tierras permanentemente emergidas en el Caribe, previendo el substrato necesario para la formación y desarrollo de las biotas terrestres actuales. De particular importancia biogeográfica en este periodo de tiempo, fue la formación de una extensa cresta emergida (Gaarlandia), que hace 35-33 Ma unió brevemente América del Sur con los núcleos de las futuras Antillas Mayores, y el desarrollo de los núcleos terrestres antillanos hasta el presente (Iturralde, 2004). Esto ha generado una interesante controversia en la discusión del origen de la biota terrestre antillana actual. Controversia que se puede resumir en cuatro enfoques: a) la existencia de los puentes terrestres como medio principal de movimiento de las biotas terrestres, b) la dispersión marina de

las biotas mediante “balsas de vegetación”; c) el origen de las biotas por el mecanismo de separación tectónica de las tierras o vicarianza y d) la posición ecléctica, que acepta una combinación de dispersión por tierra y vicarianza entre las islas (Iturralde, 2004).

2.2.3. Fisiografía

La regionalización geográfica es la división de un territorio en áreas menores, con características comunes, representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental y permite la comprensión de la ordenación de los recursos naturales, para su manejo adecuado (Soberón *et al.*, 2008). El territorio de México está dividido en 15 provincias fisiográficas (Figura 2), definidas como unidades morfológicas de características distintivas; cuando cumple las siguientes condiciones:

- A. Origen geológico unitario sobre la mayor parte de su área
- B. Morfología propia y distintiva
- C. Litología distintiva

Provincias fisiográficas



Figura 2. Provincias fisiográficas, basada en INEGI.

2.2.4. Clima

En México están representados los grupos climáticos. A, B, C y E de Köppen (Cuadro 3) modificados por García (2004); a partir de esos cuatro grupos, existen 97 tipos y subtipos de climas (González , 2003; García, 2004; INEGI, 2005).

Cuadro 3. Grupos climáticos, tomado de García, Enriqueta (1973).

Grupo	Características generales
A	Climas cálidos húmedos
B	Climas secos
C	Climas templados húmedos
E	Climas muy fríos o de grandes alturas

Grupos de climas A (tropicales lluviosos, con temperatura media del mes más frío

mayor de 18 °C)

Los climas A se extienden a lo largo de las vertientes Pacífico y del Golfo. En la costa del Pacífico se distribuyen desde el paralelo 24° norte hacia el sur y abarcan desde el nivel del mar hasta una altitud de unos 800 a 1,000 m. Por el lado del Golfo de México comprenden desde el paralelo 23° latitud norte, hacia el sur a lo largo de la Llanura Costera, de la base de los declives correspondientes de la Sierra Madre Oriental, y de las montañas del norte de Chiapas. Se encuentran también en la mayor parte de la Península de Yucatán así como en algunas zonas interiores como la Cuenca del Balsas y la Depresión central de Chiapas, en donde se extiende hasta una altitud de 1,300 msnm.

Grupos de climas B (secos)

Debido a la situación geográfica de la república mexicana en la zona de alta presión y aires descendentes Alisios y a la orientación general de sus amplias sierras en relación con los mares, existen en nuestro país, especialmente en su porción septentrional, amplias regiones con climas áridos BW o BS. Los BW se localizan en la Península de Baja California y parte norte de la Altiplanicie mexicana, a altitudes menores a los 1,500 m, así como en parte de la Llanura costera del Pacífico, situada al norte del paralelo 25° norte; y exceptuando el noroeste, en donde el clima es BS.

Los climas BS se encuentran bordeando a los BW, en la parte norte de la Altiplanicie así como en los declives de la Sierra Madre Occidental, que se elevan de la Llanura Costera del Pacífico al norte del paralelo 23° norte, y en la porción central y noroeste de la península de Baja California. Se extienden también en las zonas interiores del centro y sur del país, que se encuentran menos expuestas a la influencia de los vientos húmedos del mar, como sucede en algunas porciones de la parte sur de la Altiplanicie, en las partes más bajas de la cuenca del Balsas, y las cuencas más altas de los ríos Verde, Mixteco, Tlapaneco, Papaloapan y Tehuantepec.

Grupo de climas C (templados lluviosos, con temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C y la del mes más caliente mayor de 10°C).

Existen en México amplias zonas con clima C que se localizan en las zonas montañosas o llanuras de altitud superior a 800-1,000 msnm, en lugares en donde la temperatura media de un mes desciende, por lo menos, por debajo de 18°C . Los límites entre estos climas y los climas A, B o E, dependen de la altitud, de la latitud y de la exposición a los vientos húmedos. En aquellas zonas que se encuentran directamente expuestas a la influencia de vientos húmedos, la transición es de climas calientes húmedos A, a climas C; en cambio, en las zonas menos expuestas a dichos vientos, la transición es de climas secos B a climas C.

Climas E (fríos, con temperaturas medias del mes más caliente menores a 10°C)

Los climas E en México se encuentran reducidos a las partes más altas del Eje Volcánico, en donde la temperatura media del mes más caliente, debido al aumento en altitud, desciende por debajo de 10°C " (González , 2003).

2.2.5. Suelos

La clasificación de los suelos de México se basa en el sistema adoptado por INEGI, a partir de la propuesta por FAO-UNESCO/1968 a escala 1: 1000,000, el cual propone 22 tipos de suelos (INEGI, 2009), pero actualizando su nomenclatura basada en la World Reference Base for Soil Resources WRB (2006), se reduce a 20 tipos de suelo: acrisol, andosol, arenosol, cambisol, castañozem, chernozem, feozem, fluvisol, gipsisol (antes xerosol y yermosol), gleysol, histosol, leptosol (antes litosol), luvisol, nitosol, planosol, rendzina, regosol, solonetz, solonchak y vertisol. Los cinco tipos de suelos que ocupan mayor superficie en México son:

1) Leptosol: son suelos someros, encima de la roca madre o de materiales no consolidados (gravosos o pedregosos); suelos azonales y comunes en regiones montañosas. El leptosol se encuentran en todos los tipos de clima (muchos de ellos en regiones secas calientes o secas frías), en particular en zonas

fuertemente erosionadas; son suelos con menos de 25 cm de profundidad y son los más abundantes del país, cubren el 28.3% del territorio nacional. El 46.6% de la superficie de leptosol tienen menos de 10 cm de profundidad (leptosol lítico). Para el caso de México este grupo se relaciona generalmente con paisajes accidentados de sierras (altas, complejas, plegadas y asociadas con cañadas o cañones), y con extensas planicies de calizas superficiales como la Península de Yucatán. Las subprovincias fisiográficas con mayor frecuencia de Leptosol (más de 65% de su área) son las sierras de San Carlos, Sierras del Petén, Serranía del Burro, Sierras del sur de Puebla, el Carso Yucateco y la Gran Sierra Plegada de la Sierra Madre Oriental.

2) Regosol: son suelos jóvenes, o poco desarrollados, en materiales no consolidados, carecen de horizontes bien definidos; son abundantes en áreas erosionadas, especialmente en las zonas áridas y semiáridas (incluye zonas tropicales secas) y terrenos montañosos. Se desarrolla en casi todas las zonas climáticas (con excepción de los climas E) y en todas las elevaciones; son especialmente comunes en zonas áridas y las regiones tropicales secas y en las regiones de montaña. Ocupan el **13.7% de la superficie de México** y se encuentran **presentes en todas las provincias, de manera especial en la Península de Baja California y Sierra Madre del Sur. La gran variedad de regosoles está relacionada directamente con la enorme diversidad de procesos edáficos que los originan.**

3) Feozem: Suelos de regiones relativamente húmedas (pastizales y bosques), en climas moderadamente continentales; suelos ricos en materia orgánica, oscura, de origen eólico, glacial y otros materiales no consolidados, predominantemente básicos. Suelos típicos de agricultura de temporal y se distribuyen en el 11.7% de la superficie nacional, principalmente en zonas templadas de acumulación, aledañas a la Sierra Madre Occidental y en la discontinuidad de la Sierra de Tamaulipas; en las llanuras aluviales semiáridas de la Mesa del Centro, específicamente en las partes bajas de la Sierra de Guanajuato y Sierra del norte de Zacatecas; así como mesetas y lomeríos basálticos o de aluvión antiguo

distribuidos en el Eje Neovolcánico, particularmente en la región de Guadalajara, Querétaro e Hidalgo, donde aún los procesos de acumulación superan ligeramente los procesos de lixiviación. Poco menos de la mitad de los feozem (46.4%) tienen menos de 50 cm de profundidad, son pedregosos en su interior (20.5%), y manifiestan frecuentemente procesos de lixiviación de arcilla (19.9%), acumulación ligera de carbonatos (15.1%) y procesos importantes de humificación (13.0%).

4) Calcisol: suelos con un horizonte superficial marrón pálido, producto de la acumulación secundaria de cal dentro de los primeros 100 cm de profundidad; común en materiales parentales altamente calcáreos y se encuentra en zonas áridas y semiáridas; de hecho, son los suelos representativos de éste tipo de zonas en México. Estos suelos dominan el 10.4% de la superficie nacional, originados en su mayoría por depósitos aluviales y coluviales ricos en bases, en ambientes con elevada evapotranspiración. Las regiones fisiográficas más distintivas de calcisoles en México son las llanuras desérticas de Coahuila y Nuevo León, las sierras plegadas del norte de Chihuahua, los lomeríos áridos de Aldama y Río Grande en Zacatecas, así como los extensos desiertos sonorenses. Casi la mitad de los calcisoles (47.1% en términos de la superficie que cubren) tienen fuertes limitantes para la agricultura por sus condiciones de elevada pedregosidad y presencia de un horizonte petrocálcico, generalmente a menos de 50 cm de profundidad. Otra variante importante de estos suelos son los calcisoles lúvicos y vérticos (3.2% de la superficie con calcisoles) los cuales son considerados poligenéticos, debido a que las capas más arcillosas del subsuelo están relacionadas con eras geológicas de climas más húmedos que el actual.

5) Luvisol: suelos con alto contenido de arcilla, sin marcada lixiviación; su material parental son materiales no consolidados, incluidos depósitos glaciales, eólicos, aluviales y coluviales; común en tierras planas o suavemente inclinadas en las regiones templadas frías y en regiones cálidas con estaciones secas y húmedas, cubren 9.0 % de la superficie nacional. Vinculados frecuentemente con los bosques de coníferas y selvas caducifolias de las sierras escarpadas complejas de

Oaxaca, las sierras tropicales de laderas tendidas al norte de Chiapas y la Selva Lacandona. También son representativos en las Grandes Mesetas de Durango y Chihuahua, así como en las llanuras aluviales asociadas con lomeríos de la Costa Veracruzana. Una buena parte de los Luvisoles en México son rojos, pobres en calcio (38.1%), y pobres en magnesio (24.8%), pero con alto contenido de carbono orgánico. Una propiedad destacable de los Luvisoles es que una gran proporción de ellos tienen un horizonte superficial menor a 18 cm debido a procesos de erosión que lo han decapitado constantemente (WRB, 2006; Cruz *et al.*, 2007).

2.2.6. Vegetación de México

La república mexicana por su situación geográfica, fisiografía, clima, geología y suelos, y factores histórico-evolutivos (depredación, competencia, hibridación, introgresión, mutación, aislamiento reproductivo, vicarianza y efecto fundador) presenta una gran diversidad de condiciones ecológicas, lo que ha dado como resultado una riqueza biótica, y en particular florística y de vegetación donde prácticamente existen todas las formaciones vegetales descritas en el nivel mundial (González , 2003; Rzedowski, 2006).

Uno de los problemas con la vegetación o con las comunidades vegetales de México es la ausencia de un sistema de clasificación y nomenclatura de uso y aceptación general (González , 2003) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de la nomenclatura de tipos de vegetación (modificado de González, 2003).

Miranda y Hernández X. (1963)	Rzedowski (1966)	Flores <i>et al.</i> (1971)	Rzedowski, 1978	INEGI (2002)
Selva alta perenifolia, Selva alta, Selva mediana subperenifolia	Bosque tropical perennifolio.	Selva alta perennifolia, Selva mediana, subperenifolia (en parte).	Bosque tropical perennifolio	Selva perennifolia
Selva alta o Selva Mediana subcaducifolia		Selva mediana subcaducifolia, Selva mediana subperenifolia (en parte)	Bosque tropical subcaducifolio	Selva subcaducifolia
Selva baja caducifolia	Bosque tropical deciduo	Selva baja caducifolia (en parte)	Bosque tropical caducifolio	Selva caducifolia
Selva baja subperenifolia (en parte), Selva baja espinosa perennifolia, Selva baja espinosa caducifolia	Bosque espinoso, Mezquital extra desértico	Selva baja caducifolio (en parte), Selva baja subperenifolia, Mezquital (en parte)	Bosque espinoso	Selva espinosa
Pastizales, Zacatonales Vegetación de páramos de altura, Sabanas	Zacatal	Pastizal, Zacatal, Sabana.	Pastizal	Pastizal
Matorral espinoso con espinas laterales, Cardonales, Tetecheras, etc., Izotales, Nopaleras, Matorral espinoso con espinas terminales, Matorral inerme parvifolio, Magueyales, Lechuguillales, Guapillales, etc., Chaparrales, Vegetación de desiertos áridos arenosos	Matorral desértico micrófilo, Matorral desértico rosetófilo, Matorral crasicaule, Matorral submontano, Encinar arbustivo	Mezquital (en parte), Chaparral, Matorral submontano, Matorral crasicaule, Matorral desértico rosetófilo, Matorral desértico micrófilo	Matorral xerófilo	Matorral xerófilo
Encinares	Encinar y pinar (en partes)	Bosque de encino	Bosque de <i>Quercus</i>	Bosque de encino Bosque de encino-pino

				Bosque bajo abierto
Pinares, Bosque de abetos u oyameles.	Encinar y pinar (en parte)	Bosque de pino, Bosque de oyamel	Bosque de coníferas	Bosque de ayarín; de cedro, Bosque de oyamel, Bosque de pino, Bosque de pino-encino, Bosque de táscate Matorral de coníferas
Selva mediana o baja perenifolia, Bosque caducifolio (en parte)	Bosque deciduo templado	Bosque caducifolio	Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña
Manglar, Popal, Tular, Carrizal, etc., Bosque caducifolio (en parte)		Manglar, Popal	Vegetación acuática y subacuática	Vegetación hidrófila

Continuación cuadro 4.

Provincia Sierras y Llanuras del Norte e) matorral submontano predomina en la faja oriente de la Sierra Madre Oriental en el límite de la Planicie Costera del Golfo Norte, y f) matorral Tamaulipeco en la porción media de Tamaulipas g) vegetación de desierto arenoso, está presente en la región de unas del desierto del Vizcaíno y el desierto de Altar.

Los pastizales predominan en los declives orientales de la Sierra Madre Occidental, distribuidos en las llanuras del norte de México, al oeste de Tampico con pastos cultivados, en la Mesa del Centro distribuidos aleatoriamente, y al oriente de Hidalgo y Puebla. Las sabanas predominan en Tabasco y la parte baja al noroeste de las Sierras de Chiapas y la Depresión Chiapaneca.

Las selvas caducifolias están presentes en la Sierra de la Victoria región del Cabo, las vertientes occidentales de la Sierra Madre Occidental, occidente y centro de Jalisco, Depresión del Balsas porciones en las vertientes del Golfo de México, Depresión Chiapaneca y porción noroeste de Chiapas;

La selva subcaducifolia, en la parte media de Tamaulipas, parte sur de la Península de Yucatán, franja costera sur de la Sierra Madre del Sur, y partes altas y menos húmedas de Veracruz.

Las selvas perennifolias predominan en el corazón cárstico de la Sierra Madre Oriental, parte sur y oriente de la Península de Yucatán, parte norte hacia el Pacífico y en las costas de las Sierras de Chiapas, y la subperenifolia parte de Tamaulipas colindando con el extremo oriental de la Sierra Madre Oriental (Rzedowski, 2006; INEGI, 2009).

2.3. Bases de Datos Naturales (BDN)

Para conocer la distribución de las especies, lo ideal es inventariarla, lo cual resulta difícil por los costos, el tiempo y los riesgos propios de trabajos de campo. Una alternativa es inferir los patrones de distribución de los táxones con base en hipótesis de factores que la determinan, utilizando muestras de colecciones y/o investigaciones locales o regionales.

Cuando se integran los datos de colecciones biológicas, a datos espacial-ambientales, la información generada se puede utilizar para diferentes propósitos: agrícolas, biogeográficos, de conservación, ecológicos, evolutivos, sobre salud humana y taxonómicos, (Morrone, 2000; Graham *et al.*, 2004).

La información contenida en las bases de datos naturales (BDN), tanto espacial como temporal y de identidad, dan un bosquejo de la historia pasada y presente de la biota (Escalante *et al.*, 2000; Graham *et al.*, 2004). Toda esta información es susceptible de mejorarse, depurarse y aportar nueva información a través de la construcción de BDN funcionales, estructuradas para su consulta e integración de nueva información a partir de tres fuentes principales: a) colecciones biológicas; b) bibliografía biológica; y c) trabajo de campo reciente (Aguirre, 1989; Escalante *et al.*, 2000; Guarino *et al.*, 1995).

Una herramienta básica en el análisis de esta información y que aporta a su vez nuevos datos por medio de información agregada son los sistemas de información geográfica (SIG); que incluyen procesos de obtención, almacenamiento y análisis de datos georeferenciados y que pueden ser recuperados con diferentes softwares; los cuales generan información para la toma de decisiones (Moreira,

1996; Escalante *et al.*, 2000), dando origen a diversos Sistemas de Información de Biodiversidad (SIB) en el nivel mundial, con un amplia variedad de grupos taxonómicos, disponibles muchas veces en la Web (Cuadro 5).

Cuadro 5. Algunos Sistemas de Información Biológica (SIB) en la Web.

Organización	URL (Uniform Resource Locator)
Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB)	http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html
Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB)	http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/snib.html
Global Biodiversity Information Facility (GBIF)	http://data.gbif.org/welcome.htm

En lo referente a la determinación de los patrones de distribución inferidos con base en SIB, es necesario contar con la mayor cobertura geográfica del taxon a estudiar, examinando la mayor cantidad posible de especímenes en diferentes colecciones, ya sea en algún SIB, elaborando una Base de Datos Naturales (BDN), o ambas; aunque debe advertirse que es posible que algunos datos estén duplicados en dos o más colecciones, lo cual conduce a la redundancia (Escalante *et al.*, 2000).

Las limitaciones de las colecciones para elaborar una adecuada BDN son (Guarino *et al.*, 1995; Graham *et al.*, 2004):

- a. especímenes mal preparados o mal preservados en líquido
- b. nomenclatura incorrecta y falta de ejemplares tipo

- c. errores en la identificación geográfica y taxonómica
- d. errores de recolecta (sin representatividad de muestreo en la zonas ecológicas; desigualdad de recolectas por preferencia de ciertas zonas, diferencia en esfuerzo de recolecta, etc.)
- e. problemas derivados de presencia y ausencia de datos:
 - 1 Presencia: la especie estuvo presente espacial y temporalmente cuando se recolectó, pero es posible que ahora esté ausente. Las limitaciones asociadas a este tipo de datos son sólo registros de tipo histórico.
 - 2 Ausencia; puede indicar que una especie en particular pudo estar verdaderamente ausente en el sitio o realmente sí existe, pero hubo un inadecuado esfuerzo de recolecta o un error en la calibración del dispositivo GPS.

En lo referente a bases de datos de cactáceas, en especial de *Opuntia*, aunque México es el centro de diversificación y endemismo más importante (Bravo, 1978 Guzmán et al., 2007), debido a limitaciones en infraestructura, recursos y tiempo, o a problemas inherentes a la dificultad para la recolecta y preparación de especímenes (Reyes, et al, 2007), hay una pobre representación de especies de este género en los herbarios. Algunos aficionados y científicos que se dedican a las cactáceas, hacen poco énfasis en el hábito de recolectar, registrar y publicar; esto responde, al parecer, a una actitud supuestamente proteccionista frente a recolectores sin escrúpulos; una consecuencia de esta actitud es la ausencia de información suficiente y confiable para su estudio científico (Hernández y Godínez, 1994).

Una de las principales bases de datos para *Opuntia* se encuentra disponible en SNIB-BIOTICA y el REMIB en el nivel mundial, además de las escasas bases con pocos registros en el Herbario-INEGI y de los principales Herbarios (Cuadro 7).

3. Análisis multivariable

La recolección de datos de las especies generalmente proceden de trabajo de campo histórico y/o actual; las variables de interés que proveen información sobre la distribución de las especies no son controlables (es decir, dependen de la preparación y disciplina del recolector para registrarlas), por lo que la mayoría de las veces no se pueden medir o estimar; este tipos de datos, al ser procesados no pueden ser analizados con los métodos tradicionales estadísticos, siendo necesario utilizar métodos multivariados, los cuales permiten inferir hipótesis acerca de la existencia de gradientes o patrones espaciales en los datos a través de técnicas numéricas de clasificación y ordenación que resumen y revelan la estructura de esos datos (Aguirre, 1989; Leps y Smilauer, 2003; Shupe, 2005; Alcaraz, 2010).

El objetivo de la ordenación y los métodos de clasificación (Cuadro 6) es la interpretación de los patrones en la composición de especies y básicamente motivan a la pregunta ¿Cómo puedo explicar de manera óptima o describir la variación en mi conjunto de datos multivariados? (Aguirre, 1989; López y Olano, 2006; Alcaraz , 2010). Cuando se combinan ambos métodos primero se hace la ordenación y después la clasificación (Aguirre, 1989; Leps y Smilauer, 2003; Alcaraz , 2010).

Los métodos de ordenación son esencialmente operaciones en una matriz de datos de especies como columnas y de unidades básicas de observación, que para el presente estudio se denominarán unidades geográficas operativa (UGO) como filas o viceversa; la ordenación puede hacerse con datos cuantitativos o cualitativos; la ordenación es una herramienta exploratoria, por lo tanto su utilización goza de mucha libertad en la manipulación que *a posteriori* se puede hacer con los datos; sin embargo, esta es también su mayor desventaja, ya que no permiten la ejecución de pruebas de hipótesis *sensu stricto*, por lo que las interpretaciones alcanzadas mediante la aplicación de estas técnicas tienen un alto componente de subjetividad y bajo ningún aspecto son únicas (Aguirre, 1989).

Para determinar el tipo de método de ordenación es necesario saber si las especies responden de manera lineal a los gradientes o si responden a un óptimo ambiental unimodal; pero si los datos contienen muchas ausencias o ceros es mejor analizarlos con un método unimodal (ter Braak y Smilauer, 2006).

Cuadro 6. Objetivos de la ordenación y clasificación, modificado de Alcaraz, 2009 y con base en Aguirre, 1989.

<p>Objetivo de los Métodos de ordenación</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Interpretar cada unidades geográficas operativa (UGO) en relación con las otras de acuerdo a similitudes y diferencias. ✓ No realizar divisiones artificiales de la realidad. ✓ Resumir de forma efectiva los datos de los especies. ✓ Relacionar las variaciones en los taxones con las variables ambientales. ✓ Entender la estructura de las UGO. ✓ Disponer las UGO o las especies en un espacio ecológico de dimensiones reducidas. ✓ Generar hipótesis que pueden posteriormente ponerse a prueba. <p>Objetivo de los Métodos de clasificación</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Agrupar unidades UGO similares en tipos. ✓ Formar grupos de similar entidad, basados en atributos. ✓ Subdividir la realidad en compartimentos separados.
--

Los métodos de clasificación tratan de encontrar discontinuidades en los datos, y usar estas para definir grupos más homogéneos de objetos. Uno de los métodos

más usados en la clasificación en estudios ecológicos y biogeográficos es el TWISPAN. Es un método jerárquico, divisivo y politético, que utiliza información de varias variables (especies y UGO) a la vez; basado en el análisis de correspondencia (PC-ORD ver. 4.20) (Aguirre, 1989; López y Olano, 2006; Alcaraz, 2009; Leps y Smilauer, 2003).

4. Metodología

Se obtuvieron datos de la revisión de ejemplares de herbario del género *Opuntia* depositados en los principales herbarios de México (Cuadro 7). Con la información recopilada se elaboró una base primaria de datos; la cual se trabajó, georeferenciando las localidades, que carecían de tal información, ya que la mayor parte estaba referenciada en términos vagos. Para lo cual se utilizó el catálogo de claves de localidades o nomenclátor de INEGI (2008) y atlas por entidad federativa.

Cuadro 7. Fuentes de información para la elaboración de la base de datos primaria.

Herbario del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU)
Herbario del Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara (IBUG)
Herbario Isidro Palacios del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (SLPM)
Herbario de la División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo (CHAPA)
Herbario del Centro Regional del Bajío, Instituto de Ecología A.C. (IEB)

Para complementar la base primaria de datos se agregaron las bases de datos de INEGI y la del SNIB-CONABIO para *Opuntia* (Anexo 1).

Las tres bases se unieron en una base de datos primaria integrada (BDIp), en formato DBF obteniéndose 5304 registros georeferenciados en proyección Lamber. La base de datos (BDIp) se procesó en ArcView 3.2 (SIG), sobreponiendo las capas de metadatos a partir de las versiones 1:1, 000,000 de información geográfica y ecológica de INEGI (Cuadro 8). Creando una base de datos secundaria de presencias históricas que van de 1897 al 2005, con estructura nomenclatural, curatorial, geográfica y ecológica (Cuadro 9).

Cuadro 8. Datos vectoriales utilizados para la BDI, escala 1: 1,000, 000 INEGI.

a. Conjunto de datos Vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1, 000,000. Serie I.
b. Conjunto de datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1,000,000 Serie I
c. Conjunto de datos Vectoriales Clima. Continuo Nacional. Escala 1:1,000,000
. Conjunto de datos Vectoriales e la Carta e Uso el Suelo y Vegetación, Escala 1:1,000,000 Serie II (Continuo Nacional)
e. Conjunto de datos Vectoriales Edafología. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000

Cuadro 9. Estructura de la base de datos secundaria.

A. Componente nomenclatural	B. Componente curatorial
Familia	Proyecto fuente
Género	Recolector
Especie	Registro curatorial
	Herbario
	Fecha de recolecta
	Recolector
	Número de recolecta
C. Componente geográfico	E. Componente ecológico
Localidad	Fisiografía: provincias
Municipio	Litología
Estado	Tipo de vegetación
Latitud (coordenadas decimales)	Tipo de clima
Longitud (coordenadas decimales)	Tipo de suelo
Altitud (msnm)	

Los registros se depuraron de especies con localidades y georreferenciación duplicada, quedando en total 1783 registros únicos en localidad y georreferenciación, los cuales se usaron para los análisis descriptivos y multivariados.

Para el presente análisis multivariable, se utilizó el catálogo de Guzmán *et al.*, (2003), que consigna el registro de 83 especies de *Opuntia* para México. Se excluyeron las especies de *Opuntia* que ya están reconocidas en el género *Nopalea* (*N. auberi*, *N. cochenillifera*, *N. dejecta*, *N. inaperta*, *N. karwiskiana* y *N. lutea*) (Puente, 2006); se omitió *O. ficus-indica*, que es de origen antropogénico y de distribución muy influida por humanos (Reyes *et al.*, 2005a), por lo que de las 76 especies restantes sólo se analiza la distribución de 60 especies que fueron las contenidas en BDI (Cuadro 10).

Cuadro 10. Especies de *Opuntia* utilizadas en la ordenación y clasificación.

Especie	Acrónimo	Especie	Acrónimo
<i>O. atrispina</i> Griffiths	atri	<i>O. littoralis</i> (Engelm.) Cockerell	lito
<i>O. atropes</i> Rose	atro	<i>O. macrocentra</i> Engelm.	macro
<i>O. azurea</i> Rose	azu	<i>O. macrorhiza</i> Engelm.	marhi
<i>O. basilaris</i> Engelm. & Bigelow	basi	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick	mega
<i>O. bensonii</i> H. Sánchez-Mejorada	benso	<i>O. megarhiza</i> Rose	merhi
<i>O. bravoana</i> Baxter	bravo	<i>O. microdasys</i> Lehm.	micro
<i>O. cantabrigensis</i> Lynch.	canta	<i>O. nejapensis</i> Bravo	neja
<i>O. chaffeyi</i> Britton & Rose	chafe	<i>O. neochrysantha</i> Bravo	neocry
<i>O. chlorotica</i> Engelm. & J.M. Bigelow	chloro	<i>O. orbiculata</i> Salm-Dick	orbi
<i>O. cochineria</i> Griffiths	cochi	<i>O. oricola</i> Philbrick	orico
<i>O. decumbens</i> Salm-Dick	decum	<i>O. parviclada</i>	parvi

		Arias & Gama	
<i>O. depresa</i> Rose	depre	<i>O. phaeacantha</i> Engelm.	phaeca
<i>O. dillenii</i> (Ker.-Gawl.) Haw.	dille	<i>O. pilifera</i> F.A.C. Weber	pili
<i>O. durangensis</i> Britton & Rose	durán	<i>O. polyacantha</i> Haw.	polya
<i>O. elizondoana</i> E. Sánchez & Villaseñor	elizon	<i>O. pubescens</i> H.L. Wendl.	puben
<i>O. engelmannii</i> Salm-Dyck	engel	<i>O. rastrera</i> F.A.C. Weber	rastre
<i>O. excelsa</i> Sánchez-Mejorada	excel	<i>O. rileyi</i> J.G. Ortega	rile
<i>O. feroacantha</i> Britton & Rose	feroa	<i>O. robusta</i> H.L. Wendl.	robus
<i>O. fragilis</i> (Nuttall) Haworth	fragi	<i>O. scheeri</i> Weber	scheri
<i>O. fuliginosa</i> Griffiths	fuli	<i>O. spinulifera</i> Salm-Dick	spinu
<i>O. guilanchi</i> Griffiths	guila	<i>O. spraguei</i> J.G. Ortega	spra
<i>O. howeyi</i> J.A. Purpus	howe	<i>O. stenopetala</i> Engelm.	steno
<i>O. huajuapensis</i> Bravo	huaja	<i>O. streptacantha</i> Lem.	strepta
<i>O. humifusa</i> (Raf.) Raf.	humi	<i>O. taponia</i> Engelm.	tapo
<i>O. hyptiacantha</i> F.A.C. Weber	hyptia	<i>O. tehuacana</i> Arias & Guzmán	tehua
<i>O. jaliscana</i> Bravo	jalis	<i>O. tehuantepecana</i> Bravo	tepeca
<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber ex Digué	joconos	<i>O. tomentosa</i> Salm-Dick	tomen
<i>O. lagunae</i> E.M. Baxter ex Bravo	lagua	<i>O. velutina</i> F.A.C. Weber	velu
<i>O. lasiacantha</i> Pfeiff.	lasia	<i>O. wilcoxii</i> Britton & Rose	wilco
<i>O. leucotricha</i> DC	leuco	<i>O. zamudioi</i> Scheinvar	zamu

Continuación cuadro 10

Las unidades de clasificación geográfica (UGO) utilizadas para el presente estudio fueron las 15 provincias fisiográficas propuestas por INEGI, 2009 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Provincias Fisiográficas.

Provincia fisiográfica (UGO-p)	Clave
Península de Baja California	p01
Llanura Sonorense	p02
Sierra Madre Occidental	p03
Sierras y Llanuras del Norte	p04
Sierra Madre Oriental	p05
Grandes Llanuras de Norteamérica	p06
Llanura Costera del Pacífico	p07
Llanura Costera del Golfo Norte	p08
Mesa del Centro	p09
Eje Neovolcánico	p10
Península de Yucatán	p11
Sierra Madre del Sur	p12
Llanura Costera del Golfo Sur	p13
Sierras de Chiapas y Guatemala	p14
Cordillera Centroamericana	p15

Se elaboraron dos matrices de presencia-ausencia, a partir de la base secundaria. La primera matriz de 15 provincias (filas) por 60 especies de *Opuntia* (columnas), la segunda matriz de 15 provincias (filas) por 86 variables ambientales (abióticas y bióticas; columnas) (Cuadro 12), a partir de la base secundaria. Con ambas matrices se realizó la ordenación indirecta y la clasificación.

Cuadro 12. Variables ambientales utilizadas en la ordenación.

Componente	Factor	Clave	Componente	Factor	clave
Biótico			Tipo climático	(A)C(fm)	(A)C(fm)
Tipo de vegetación	Bosque de encino	Be		(A)C(m)	(A)C(m)
	Bosque de pino	Bp		(A)C(w1)	(A)C(w1)
	Bosque de pino-encino	Bp-e		(A)C(w2)	(A)C(w2)
	Bosque de táscate	Bt		(A)C(wo)	(A)C(wo)
	Chaparral	Cha		(A)C(wo)x'	(A)C(wo)x'
	Matorral crasicaule	Mc		A(f)	A(f)
	Matorral desértico micrófilo	Mdm		Am	Am
	Matorral desértico rosetófilo	Mdr		Am(f)	Am(f)
	Matorral tamaulipeco	Met		Aw1	Aw1
	Matorral sarcocaule	Ms		Aw1(x')	Aw1(x')
	Matorral sarcocrasicaule	Msc		Aw2	Aw2
	Matorral submontano	Msubm		Aw2(x')	Aw2(x')
	Matorral subtropical	Msubt		Awo	Awo
	Mezquital	Mez		Awo(x')	Awo(x')
	Pastizal natural	Pn		BS1(h')(x')	BS1(h')(x')
	selvas altas	Sayms		BS1(h')w	BS1(h')w
	Selvas bajas	Sbcys		BS1h(x')	BS1h(x')
	selva baja espinosa	Sbe		BS1hw	BS1hw
	Selva mediana	Smcys		BS1k(x')	BS1k(x')
	Vegetación desértico arenosa	Vdare		BS1kw	BS1kw

	Vegetación dunas	Vdun		BSks	BSks
	Vegetación hidrófila y gipsofila	Vhyg		BSo(h')(x')	BSo(h')(x')
Abiótico				BSo(h')w	BSo(h')w
Sustrato geológico	Ígneas extrusivas	Ige		BSo(x')	BSo(x')
	Ígneas intrusivas	Igi		BSohw	BSohw
	Metamórficas	M		BSok(x')	BSok(x')
	Sedimentarias	S		BSokw	BSokw
Suelo	Acrisol	AC		BW(h')(x')	BW(h')(x')
	Andosol	AN		BW(h')w	BW(h')w
	Cambisol	CM		BWh(x')	BWh(x')
	Castañozem	KS		BWhs	BWhs
	Feozem	PH		BWhw	BWhw
	Fluvisol	FL		BWk(x')	BWk(x')
	Gipsisol	GY		BWks	BWks
	Gleysol	GL		BWkw	BWkw
	Leptosol	LP		C(f)	C(f)
	Luvisol	LV		C(m)(f)	C(m)(f)
	Planosol	PL		C(w1)	C(w1)
	Regosol	RG		C(w1)x'	C(w1)x'
	Rendzina	RZ		C(w2)	C(w2)
	Solonchak	SC		C(w2)x'	C(w2)x'
	Vertisol	VR		C(wo)	C(wo)
				C(wo)x'	C(wo)x'
				Cb'(w)	Cb'(w)

Continuación del cuadro 12.

Se procedió a obtener las estadísticas descriptivas sobre la distribución y riqueza de *Opuntia* con base en las provincias fisiográficas. Posteriormente por medio del programa CANOCO Ver. 4.5 (ter Braak y Smilauer, 2006) se llevo a cabo la ordenación para determinar gradientes ambientales y mediante el programa PC-ORD Ver. 4.2 se llevo a cabo la clasificación por la herramienta TWISPAN.

5. Resultados

5.1 Aspectos descriptivos

5.1.1. Generales

De las 60 especies de *Opuntia* encontradas en la BDI, las especies con mayor número de registros fueron *O. streptacantha* (6.84%), *O. tomentosa* (6.73%), *O. pubescens* (6.17%), *O. robusta* (6.06%), *O. hyptiacantha* (5.44%), *O. lasiacantha* (5.44%), *O. engelmannii* (5.10%) y *O. decumbens* (5.05%). En contraste, las especies con el menor número de registros fueron *O. chaffeyi*, *O. elizondoana*, *O. feroacantha*, *O. fragilis*, *O. howeyi*, *O. humifusa*, *O. lagunae*, *O. nejapensis* y *O. orbiculata* (cada una con el 0.06% de los registros.).

En cuanto a las especies de *Opuntia* de más amplia distribución están; *O. engelmannii* (presente en 10 provincias); *O. decumbens* y *O. dillenii* (presente en 8 provincias cada una); *O. phaeacantha* (presente en 6 provincias); *O. decumbens* y *O. robusta*, ambas presentes en 6 provincias.

Los registros con las fechas más antiguas de recolecta corresponden a la segunda mitad del siglo XIX (de la exploración botánica de Edward Palmer y Joseph Nelson Rose) y las más recientes son las del año 2005 de Estrada Castellón Andrés, M. González y Saynes Vázquez Alfredo. El mayor esfuerzo de recolecta se realizó en las décadas de los 90's (39 % de los registros) y 80's (28 %de los registros) del siglo XX; el menor esfuerzo de recolecta fue en las primeras tres décadas del mismo siglo (Figura 3).

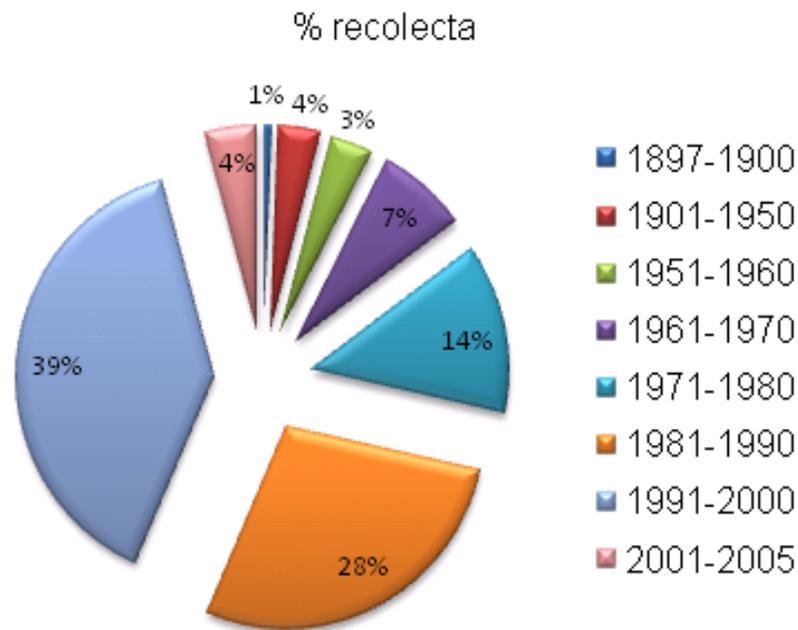


Figura 3. Cantidades relativas de recolectas de *Opuntia* realizadas entre los años 1897 a 2005.

5.1.2. Geográficos

Las provincias fisiográficas con la mayor riqueza fueron: Sierra Madre Oriental (con 33 especies), Eje Neovolcánico (31), Sierra Madre Occidental (28), Mesa del Centro (27) y Sierra Madre del Sur (22). En contraste, las provincias de menor riqueza fueron Península de Yucatán y Sierras de Chiapas y Guatemala, ambas con una especie cada una.

El mayor esfuerzo de recolecta se ha realizado en el Eje Neovolcánico (30.45%), seguido de la Sierra Madre Oriental (17.50%) y la Mesa Central (17.16%); en tanto que el menor esfuerzo de recolecta se ha efectuado en: Grandes Llanuras de Norteamérica (0.62%) y Sierras de Chiapas y Guatemala (0.06%) (Figura 4).

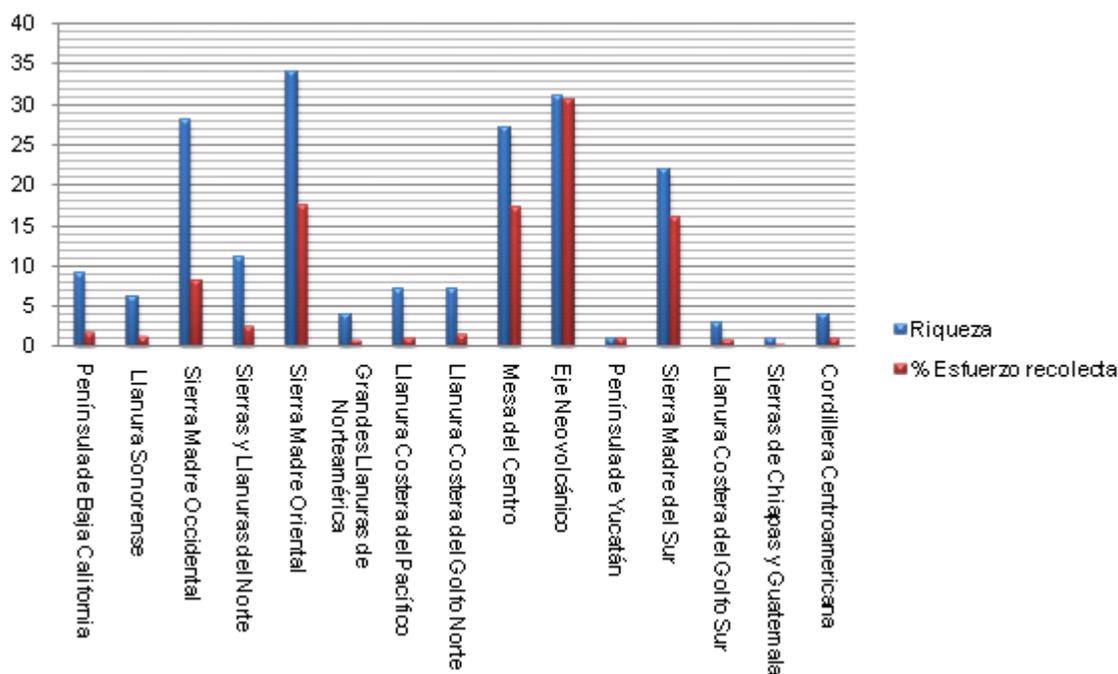


Figura 4. Porcentaje de esfuerzo de recolecta y riqueza de *Opuntia* en las provincias fisiográficas.

La relación entre riqueza y esfuerzo de recolecta, presentan una fuerte dependencia lineal positiva, por lo que el $r^2 = 0.7648$, indica una muy fuerte correlación (próxima a 1), por lo que se puede decir que a mayor esfuerzo de recolecta, mayor riqueza. Excepto en la Sierra Madre Oriental la cual presenta una relación lineal muy pequeña, ya que a pesar del poco esfuerzo de recolecta, hay una gran riqueza. (Figura 5).

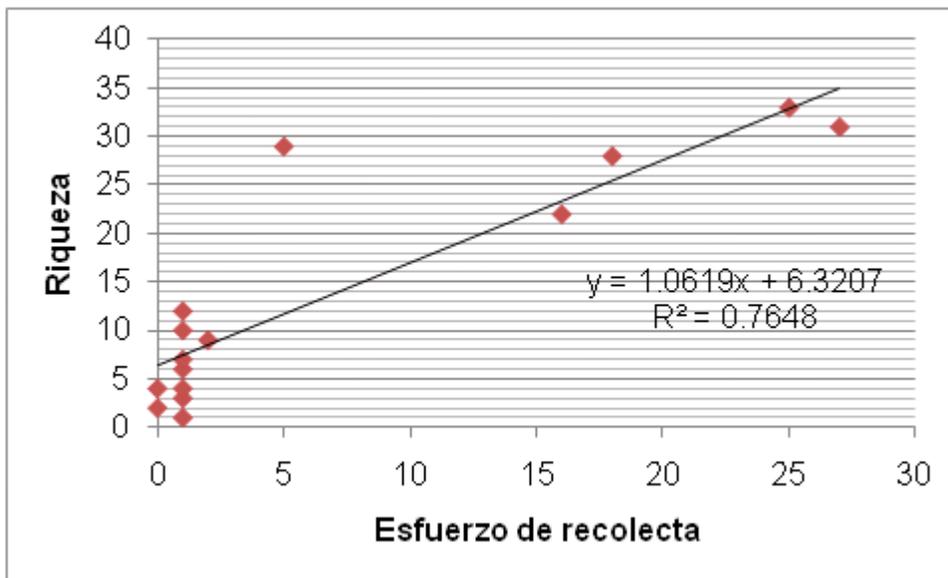


Figura 5. Correlación r^2 , entre riqueza y esfuerzo de recolecta.

La mayor cantidad de especies (41) de *Opuntia* se registró entre los 1501 y los 2000 msnm; le sigue en importancia el intervalo de 2001 y los 2500 msnm (35 especies); la menor riqueza se encontró entre 3001 y 3200 m (tres especies: *hyptiacantha*, *O. streptacantha* y *O. tomentosa*) (Figura 6). En el nivel del mar se registró *O. dillenii*, *O. decumbens*, *O. engelmannii*, *O. macrocentra*, *O. tapona* y *O. wilcoxii*.

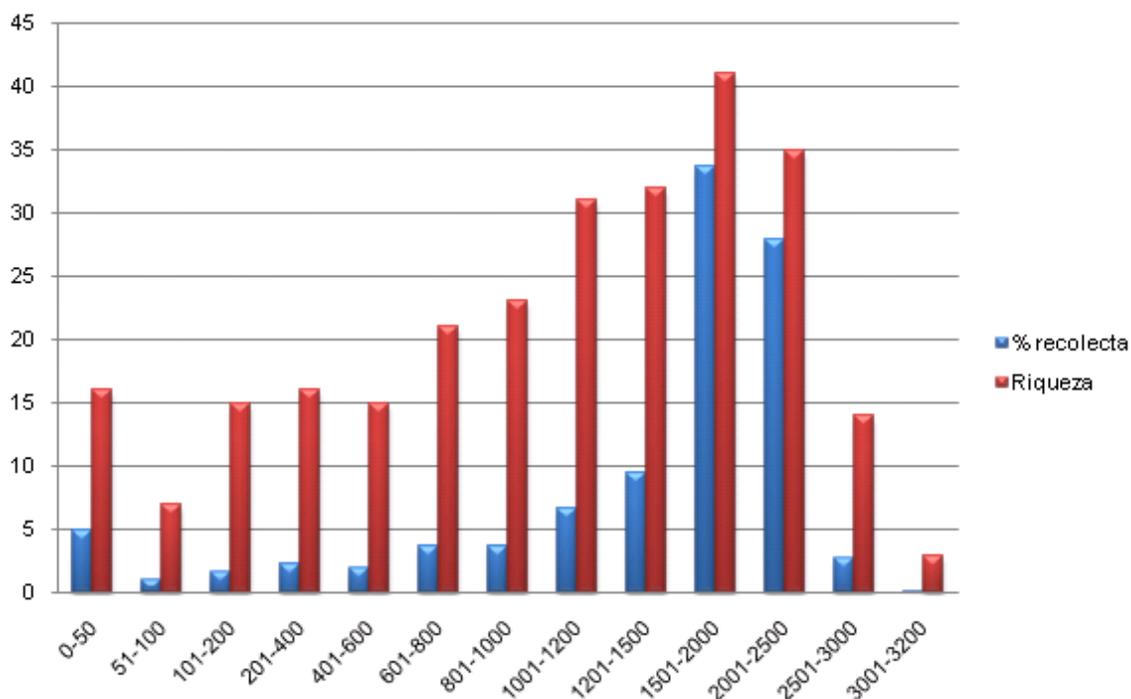


Figura 6. Intervalos de altitud y su respectivo esfuerzo de recolecta y riqueza para *Opuntia*.

La intercepción geográfica con mayor riqueza de *Opuntia* (34 especies) se encontró que entre los 20° a 23° latitud norte y 99° a 101° longitud oeste, la cual corresponde a la intercepción: suroeste de la Sierra Madre Oriental, sureste de la Mesa del Centro y centro-norte del Eje Neovolcánico; en contraste entre los 15° y 16° latitud norte y 92° a 95° longitud oeste sólo se presentaron tres especies, *O. dillenii*, *O. pubescens* y *O. tehuantepecana*, correspondiendo al extremo sur de la Cordillera Centroamericana (Figura 7).

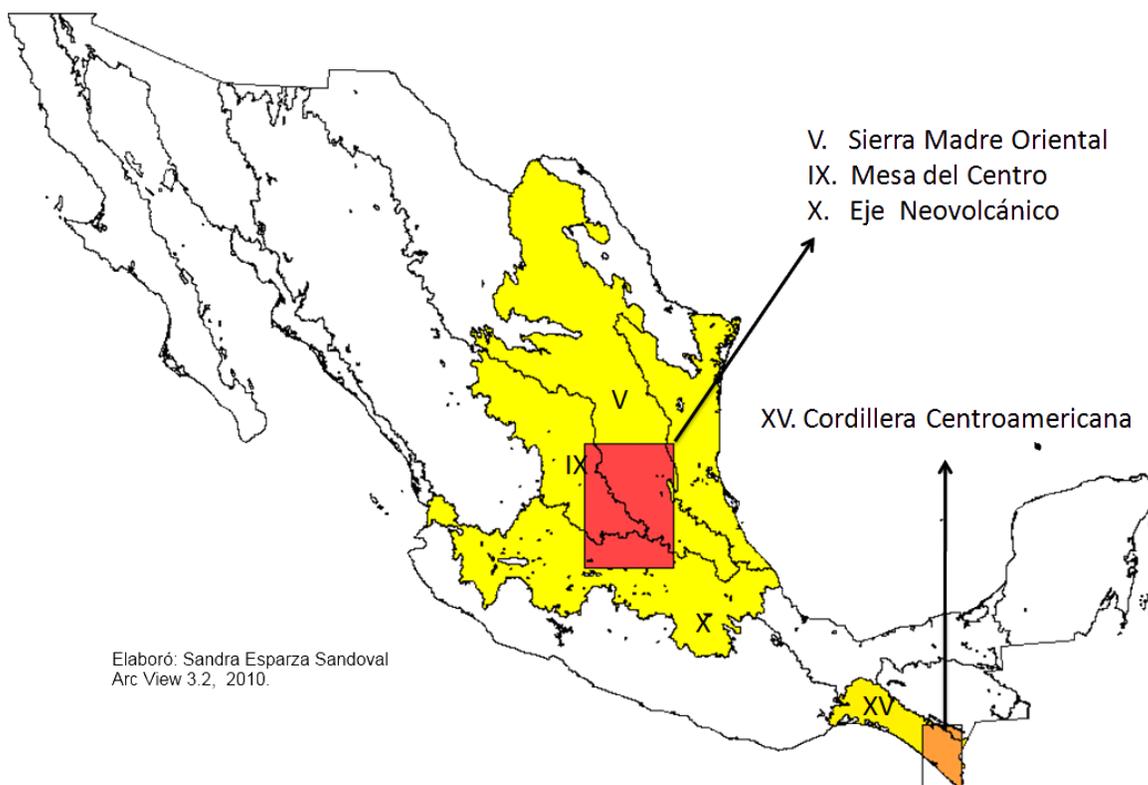


Figura 7. Zona geográfica con mayor y menor riqueza

Rojo, mayor riqueza

Naranja, menor riqueza

5.1.3. Ecológicos

En relación con los tipos de suelo, el feozem es el suelo donde se presentó la mayor cantidad de registros (23.3%) de *Opuntia*, seguido del leptosol (18.35%) y en tercer lugar el regosol (14.07%). Los tipos de suelo con la menor presencia de registros de *Opuntia* fueron acrisol, andosol, fluvisol, gleysol y yermosol (menor al 1% de las recolectas, cada uno). Los tipos de suelos sin registro de poblaciones de *Opuntia* son arenosol, chernozem, histosol, nitosol y solonetz.

Directamente ligado con lo anterior los sustratos geológicos donde más se distribuye *Opuntia* son; ígnea extrusiva (34.44%), sedimentarias (33.26%) y suelos de origen aluvial (26.98%).

De los grupos climáticos propuestos por INEGI, las poblaciones de *Opuntia* se distribuyen predominantemente en el grupo climático BS₁, semiárido (36.94% de las recolectas), predominando dentro de este el BS_{1k} (23.41%). El grupo climático C (w_0, w_1, w_2) templados abarca el 17.48% de las recolectas.

En tercer lugar el grupo climático BS₀, árido (14.61% de las recolectas), y dentro de este el tipo climático BS_{0K} (6.43%) es el más abundante. En contraste, los grupos climáticos con menor número de recolectas de *Opuntia* son Aw (0.28%) y A (f) (0.06%), ambos subhúmedos.

Opuntia está presente en la mayoría de asociaciones vegetales, aunque la mayor parte de sus poblaciones se encuentran en zonas alteradas de vegetación (54 % de las recolectas: agricultura de humedad, agricultura de riego, agricultura de temporal, área sin vegetación aparente, asentamiento humano, pastizal cultivado, pastizal inducido y plantación forestal). Le siguen en importancia los matorrales xerófilos en general (17.5%); los bosque de encino, pino-encino, encino-pino (8 %). Mientras que la selva baja caducifolia y subcaducifolia (7.46%) y pastizal natural (incluye pastizal-huizachal) (4.26%) contiene poblaciones en menor proporción. Porcentajes menores al 1% se localizaron en bosques de zonas altas, selvas altas, matorrales subtropicales, vegetación arenosa, halófila y gipsofila.

5.2. Ordenación

Se procesaron las matrices de datos: a) UGOs por especies y b) UGOs por variables ambientales en el programa CANOCO Ver. 4.5 (ter Braak y Smilauer, 2006). Con antelación al análisis exploratorio se removieron intencionalmente las siete especies de más amplia distribución (*O. cantabrigensis*, *O. decumbens*, *O. dillenii*, *O. engelmannii*, *O. phaeacantha*, *O. pubescens* y *O. rastrera*) y las provincias de la Península de Yucatán y Sierras de Chiapas y Guatemala, las cuales se eliminaron por las anteriores exclusiones. Se exploró el comportamiento de los datos con el DCA (análisis de correspondencia sin tendencia), el cual es

una técnica de ordenación indirecta en la que los gradientes ambientales se infieren a partir de los datos de las especies. La longitud del eje uno fue de 10.283 (SD), de comportamiento unimodal, optándose por este método para la ordenación. El valor de la longitud del eje uno sugiere un cambio significativo en la composición de especies entre los sitios (UGOs), definido por los gradientes ambientales relacionados con el eje uno (Cuadro 13). El valor propio asociado al eje uno fue 0.897, el cual indica una alta correlación entre sitios y especies, explicando el 21.6 % de la varianza para los datos de las especies asociados con respecto a las provincias. Mientras el eje 2 con valor propio de 0.467, explico el 32.8 % de la varianza acumulada (Cuadro 13).

Cuadro 13. Resumen DCA para todos los datos.

Ejes	1	2	3	4	Inercia Total
Valor propio	0.897	0.467	0.14	0.072	4.154
Longitud de gradiente	10.283	4.655	10.526	5.809	
Porcentaje de varianza acumulada acumulada de especies:	21.6	32.8	36.2	37.9	
Relación especies-ambiente:	29.3	45.2	0	0	

Los bajos valores del valor propio para los ejes 2 y 3 (0.467 y 0.14 respectivamente), corroboran la importancia del primer eje para explicar el alto grado de correspondencia entre sitios y especies (Cuadro14).

5.2.1. Ordenación de las provincias con base en su composición de especies de *Opuntia*.

A.- Interpretación del primer gradiente. El primer eje o gradiente, parece corresponder a un gradiente latitudinal de norte a sur, en dirección noroeste a sureste (Figura 9), en el cual se ordenan las provincias. En el extremo izquierdo del eje uno se tiene a la Península de Baja California y a la Llanura Sonorense y en el otro extremo a la Llanura Costera del Golfo Sur y Cordillera Centroamericana. Las primeras dos provincias comparten cuatro especies en común (*O. chlorotica*, *O. engelmannii*, *O. phaeacantha* y *O. pubescens*) de 11 especies de *Opuntia*.

Por su parte, en el otro extremo sur, se tiene a la Cordillera Centroamericana y la Llanura Costera del Golfo Sur, las cuales comparten dos de cinco especies de *Opuntia* (*O. decumbens* y *O. dillenii*).

En la parte central del primer gradiente, predominan provincias fisiográficas del centro de México (Eje Neovolcánico y Mesa Central), junto con las Sierras Madre Occidental, Oriental y del Sur. El Eje Neovolcánico y la Mesa Central comparten 22 de las 37 especies que tienen en conjunto. Mientras que la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico tienen en común 15 especies, de 39 en común. La Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico comparten 21 especies en común de 41 que tienen en conjunto. Finalmente la Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico comparten 23 especies en común de 44 que tienen en conjunto; siendo esta última intercepción la de mayor riqueza en especies de *Opuntia* entre las provincias.

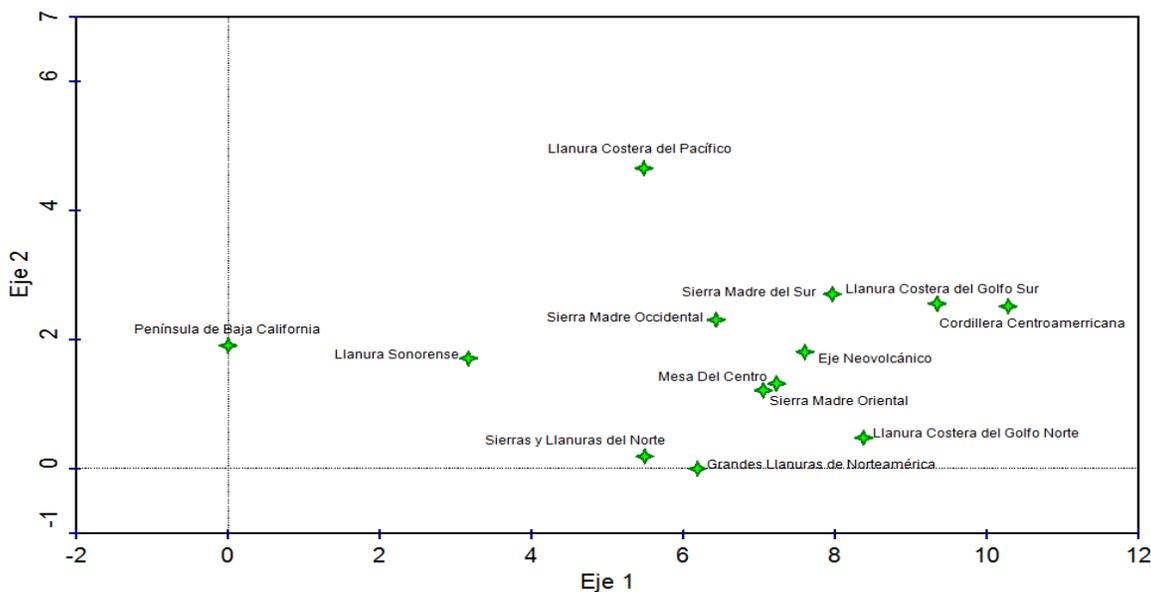


Figura 8. Ordenación de las provincias fisiográficas, con base en su composición de especies de *Opuntia*.

B.- Interpretación del segundo gradiente. El eje dos probablemente corresponde a un gradiente longitudinal geográfico (Figura 9), que va del noroeste (Llanura Costera del Pacífico) al nor-noreste (Grandes Llanuras de Norteamérica y Sierras y Llanuras del Norte), sin llegar a la Llanura Costera del Golfo Norte. Teniendo en la parte central del gradiente a la Sierra Madre Occidental.

5.2.2. Ordenación de especies de *Opuntia* con base en su distribución en las provincias fisiográficas

A.- Interpretación del primer gradiente. El primer eje corresponde a un gradiente latitudinal de norte a sur, dirección noroeste a sureste (Figura 10). En el extremo izquierdo se presentan las especies que caracterizan la Península de Baja California *O. bravoana*, *O. lagunae*, *O. littoralis*, *O. oricola* y *O. taponae*, mientras en la parte media del eje se ubican las especies características de la intercepción Mesa del Centro-Eje Neovolcánico: *O. azurea*, *O. bensonii*, *O. cochinerana*, *O. depressa*, *O. durangensis*, *O. elizondoana*, *O. fuliginosa*, *O. guilanchi*, *O. huajuapensis*, *O. hyptiacantha*, *O. jaliscana*, *O. joconostle*, *O. lasiacantha*, *O. leucotricha*, *O. macrorrhiza*, *O. megacantha*, *O. microdasys*, *O. neochrysacantha*,

O. orbiculata, *O. pilífera*, *O. robusta*, *O. spinulifera*, *O. stenopetala*, *O. streptacantha*, *O. tomentosa*, *O. velutina*. Y en el extremo derecho del eje *O. tehuantepecana*, sólo presente en la Cordillera Centroamericana y *O. depressa* características de la región sur de México (Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo Sur y Cordillera Centroamericana).

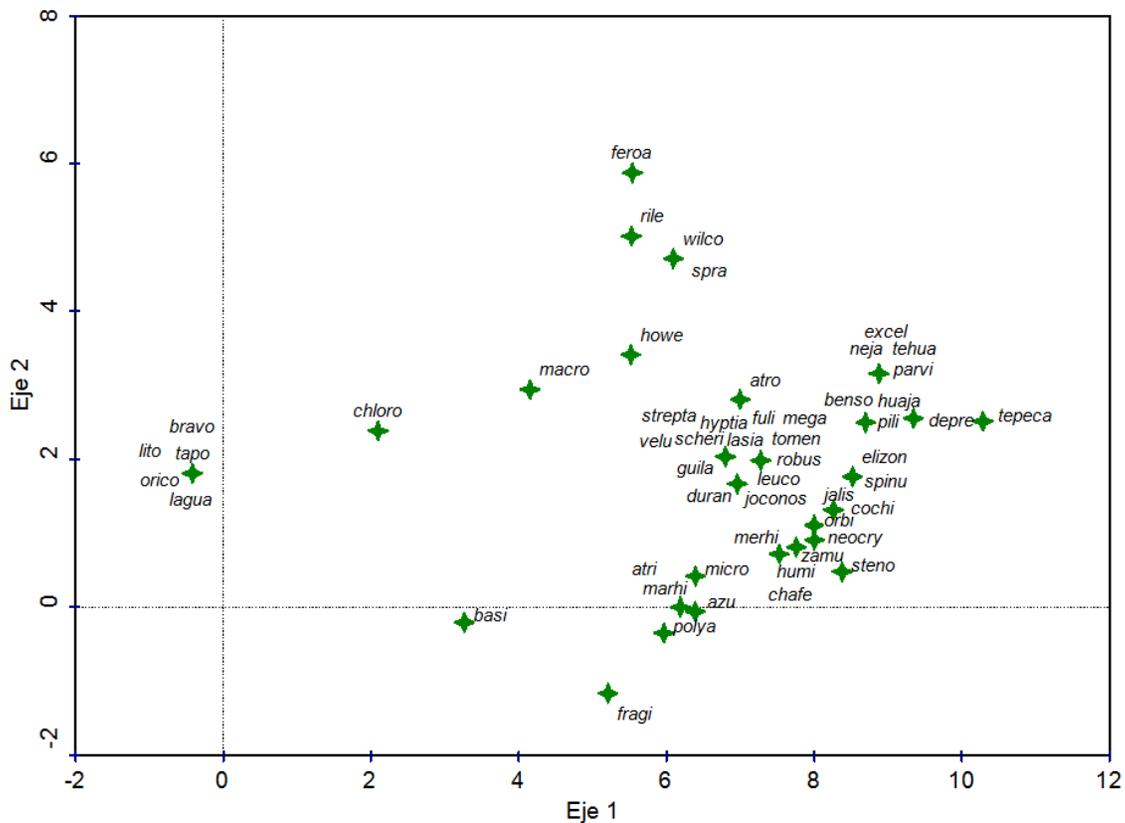


Figura 9. Ordenación de especies de *Opuntia* con base su distribución en las provincias fisiográficas.

B.- Interpretación del segundo gradiente. El eje dos corresponde a un gradiente de especies norteñas (Figura 10), que va de oeste a este sin llegar al Golfo Norte; limitando con la Sierra madre Oriental, estando *O. feroacantha*, *O. howeyi*, *O. rileyi*, *O. spraguei* y *O. wilcoxii* sólo distribuidas en el noroeste (Llanura Costera del Pacífico). Mientras que el extremo nor-noreste se ubican *O. basilaris* y *O. fragilis* (Grandes Llanuras de Norteamérica). A pesar de la cercanía geográfica entre

Grandes Llanuras de Norteamérica y Sierras y Llanuras del Norte, sólo comparten dos especies (*O. engelmannii* y *O. macrorhiza*) de 13 especies en común.

5.2.3. Ordenación de los factores ambientales con base en su composición de especies de *Opuntia*.

La correlación entre el primer eje de ordenación y las 86 variables ambientales analizadas (Figura 11 y 12), indica que el primer eje es, principalmente un gradiente climático influido por la humedad, donde las variables positivas más altamente correlacionadas fueron los tipos climáticos muy áridos a áridos BSks, BWhs y BWks todos con una correlación de 0.9862, seguida por Ms, BW(h.)(x) y BWh(x.) todos con una correlación de 0.8852. Mientras que las variables negativas de más alta correlación para el mismo eje fueron; BS1kw (semiárido) y BS0kw (árido) (-0.6086 ambas), seguidas de tipos climáticos subhúmedos (A)C(w0) y C(w1) (-0.5238 y -0.5102 respectivamente)

Mientras que el segundo eje se encuentra definido al parecer también por un gradiente climático, pero de acuerdo en su temperatura, teniendo en un extremo climas BS0(h)w, Bs1(h)w, cálidos y por el otro extremo los tipos climáticos C(w₀)x BWkw templados.

Correspondiendo a la distribución climática presente en México (Figura 9). Lo anterior se ve evidenciado en los diagramas de ordenación (Figuras 12 y 13), en lo que los vectores con mayor longitud representan las variables más significativas.

Cuadro 14. Correspondencias asociadas a las variables ambientales significativas en la ordenación DCA para los dos primeros ejes.

Variable	Descripción	Eje 1	Eje 2
BSks	árido	0.9862	-0.0028
BWhs	muy árido	0.9862	-0.0028
BWks	muy árido	0.9862	-0.0028
Ms	mat. sarcocaulé	0.8852	0.0442
BW(h.)(x)	muy árido	0.8852	0.0442
BWh(x.)	muy árido	0.8852	0.0442
C(w ₁)	subhúmedo	-0.5102	-0.1944
(A)C(w ₀)	subhúmedo	-0.5238	-0.2204
BS ₁ kw	semiárido	-0.6086	-0.3647
BS ₀ kw	árido	-0.6086	-0.3647
VR	vertisol	-0.6282	0.1296
BS ₁ hw	semiárido	-0.6283	-0.3975
RZ	rendzina	-0.652	-0.4356

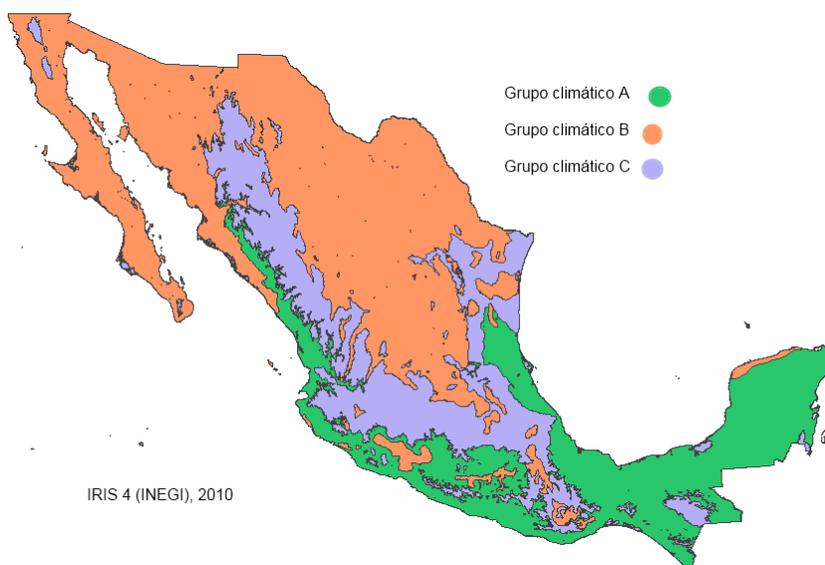


Figura 10. Regionalización de los grupos climáticos en México.

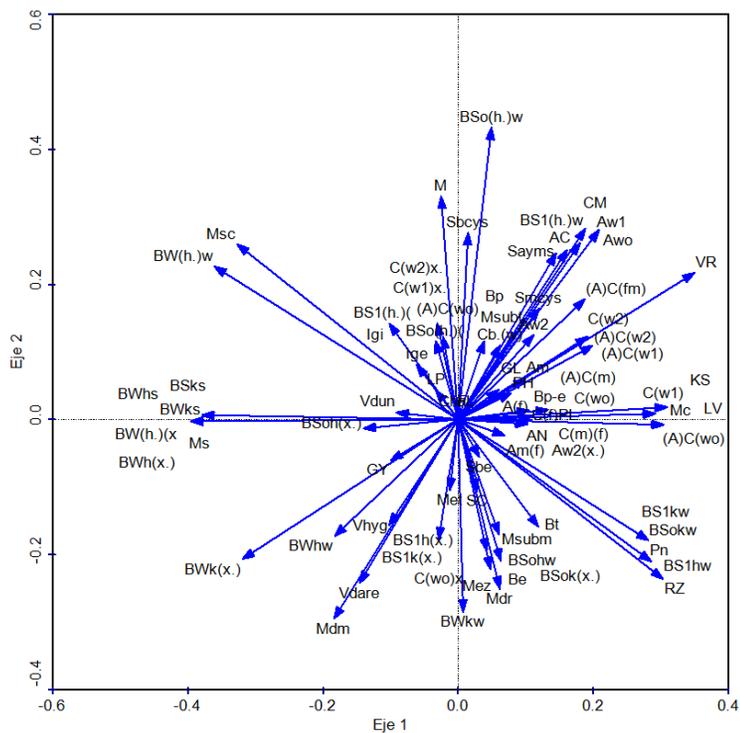


Figura 11. Ordenación (DCA) de variables ambientales con respecto a sitios (UGOs) y especies de *Opuntia*.

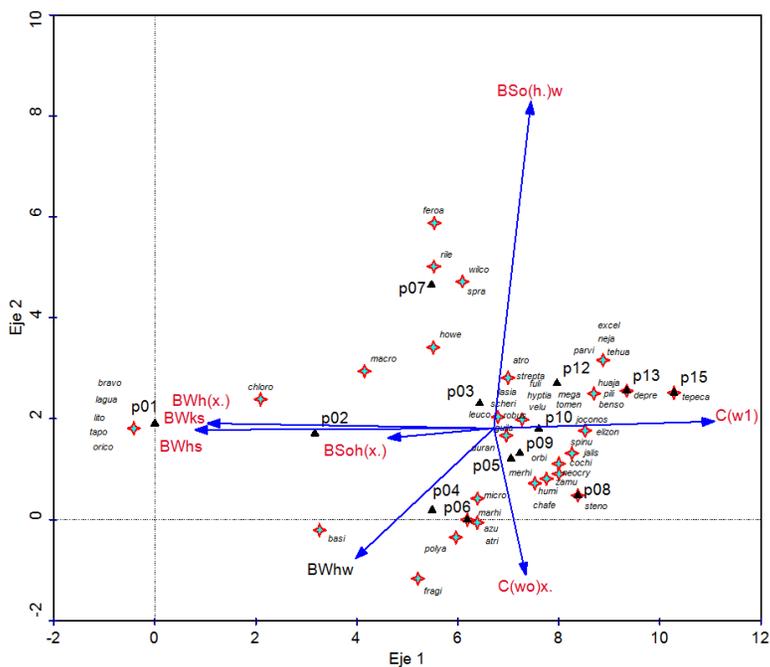


Figura 12. Ordenación de las especies de *Opuntia* en relación con las variables ambientales de mayor significancia.

p1 Península de Baja California, p2 Llanura Sonorense, p3 Sierra Madre Occidental, p4 Grandes Llanuras de Norteamérica, p5 Sierra Madre Oriental, p6 Sierras y Llanuras del Norte, p7 Llanura Costera del Pacífico, p8 Llanura Costera del Golfo Norte, p9 Mesa del Centro, p10 Eje Neovolcánico, p12 Sierra Madre del Sur, p13 Llanura Costera del Golfo Sur, p15 Cordillera Centroamericana.

A.- Interpretación del primer gradiente. El primer eje, corresponde a un gradiente climático latitudinal al parecer de acuerdo a su humedad, el cual va de muy árido a subhúmedo, en dirección norte a sur (Figura 12 y 13). El extremo izquierdo del eje, está representado por el grupo climático BW: BWhs (muy árido-semicálido); BW(h')x' (muy árido-semicálido) y BWks (muy árido-templado). Este grupo climático se presenta en las provincias de la región noroccidente-centro. Estas provincias varían en el tipo de vegetación donde se localiza *Opuntia*.

- Península de Baja California, ubicándose *Opuntia* en: vegetación de bosque de encino, chaparral, matorral desértico micrófilo y matorral sarcocaulé, principalmente.
- Llanura Sonorense, ubicándose *Opuntia* en: vegetación de matorral desértico sarcocaulé, mezquital (incluye huizachal) y vegetación de desiertos arenosos.
- Llanura Costera del Pacífico, ubicándose *Opuntia* en: selvas bajas y matorral xerófilo.
- Sierras y Llanuras del Norte, *Opuntia* se ubica en vegetación de matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo y vegetación de desiertos arenosos.
- Sierra Madre Occidental con predominancia de vegetación de matorral submontano y bosque de encino-pino. Además del grupo climático BW, también predominando Climas BS₀ en sus vertientes más secas y climas A(C) y C climas de tipo transicional en las partes más húmedas.

Todas las provincias antes mencionadas tienen predominancia edáfica de leptosol y regosol, para el grupo climático BW y BS₀.

Cabe hacer mención que las provincias Grandes Llanuras de Norteamérica y Llanura Costera del Golfo Norte, y Sierra Madre Oriental no presentan este grupo climático.

En la parte central del eje se ubican el clima $BS_0h(x')$ (árido-semicálido), presente en la mayoría de las provincias, excepto en las del Golfo de México y las correspondientes al extremo chiapaneco (Sierras de Chiapas y Guatemala y Cordillera Centroamericana). *Opuntia* está presente en la parte continental central en vegetación de bosque de pino, matorral crasicaule, matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, mezquital (incluye huizachal), pastizal natural, selvas bajas y vegetación halófila y gipsófila, con dominancia edáfica en feozem, gipsisol, leptosol y regosol.

El extremo derecho presenta los grupos climáticos (A)C y C(w) representando en general a los grupos climáticos subhúmedos en los que se encontró *Opuntia* que van de semicálidos a templados. Estos climas predominan en las zonas altas, de transición y vertientes hacia las costas de México como:

- Sierra Madre Occidental presente *Opuntia* en vegetación de bosque de encino, pastizal natural (incluye pastizal-huizachal) y selva baja, predominando el suelo feozem.
- Sierra Madre Oriental presente *Opuntia* en vegetación de bosque de encino, bosque de pino, bosque de pino-encino y encino-pino, chaparral, matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, mezquital (incluye huizachal) pastizal natural y selva baja con predominio de suelos cambisol, feozem y leptosol.
- Mesa del Centro presente *Opuntia* en vegetación de bosque de encino, bosque de pino-encino, encino-pino, chaparral, matorral crasicaule, matorral submontano, matorral desértico y pastizal natural (incluye pastizal-huizachal); predominando suelos feozem y gipsisol
- Eje Neovolcánico presente *Opuntia* en vegetación de bosque de encino, bosque de pino-encino (incluye encino-pino), matorral crasicaule, matorral

desértico rosetófilo, matorral subtropical, selva baja con predominio de feozem.

-Sierra Madre del Sur presente *Opuntia* en vegetación de bosque de pino, bosque de pino-encino y encino-pino, chaparral, matorral desértico rosetófilo y selva baja, dominando los suelos leptosol y regosol.

Todas las anteriores provincias caracterizadas por su gran heterogeneidad ambiental, lo que a su vez genera gran riqueza en especies de *Opuntia* en conjunto.

B.- Interpretación del segundo gradiente. El eje dos corresponde a un gradiente climático de acuerdo a su temperatura (Figura 12 y 13) que va en dirección noroeste a noreste sin llegar a Llanura del Golfo Norte. En el extremo superior se ubica el clima $BS_0(h')w$, el cuál es cálido, mientras que el extremo inferior esta el clima $BWkw$ y $C(w0)x'$, ambos templados.

5.3. Clasificación

5.3.1 Clasificación de las provincias fisiográficas con base en su composición de especies de *Opuntia*

A partir del método de TWISPAN se obtuvieron cinco niveles de clasificación, agrupándose en base a provincias contiguas (Figura 14). Se identifican tres grandes patrones de distribución: I) patrón Noroeste-Noreste de México, II) patrón Sierras Madre-Centro de México y III) patrón Sur de México.

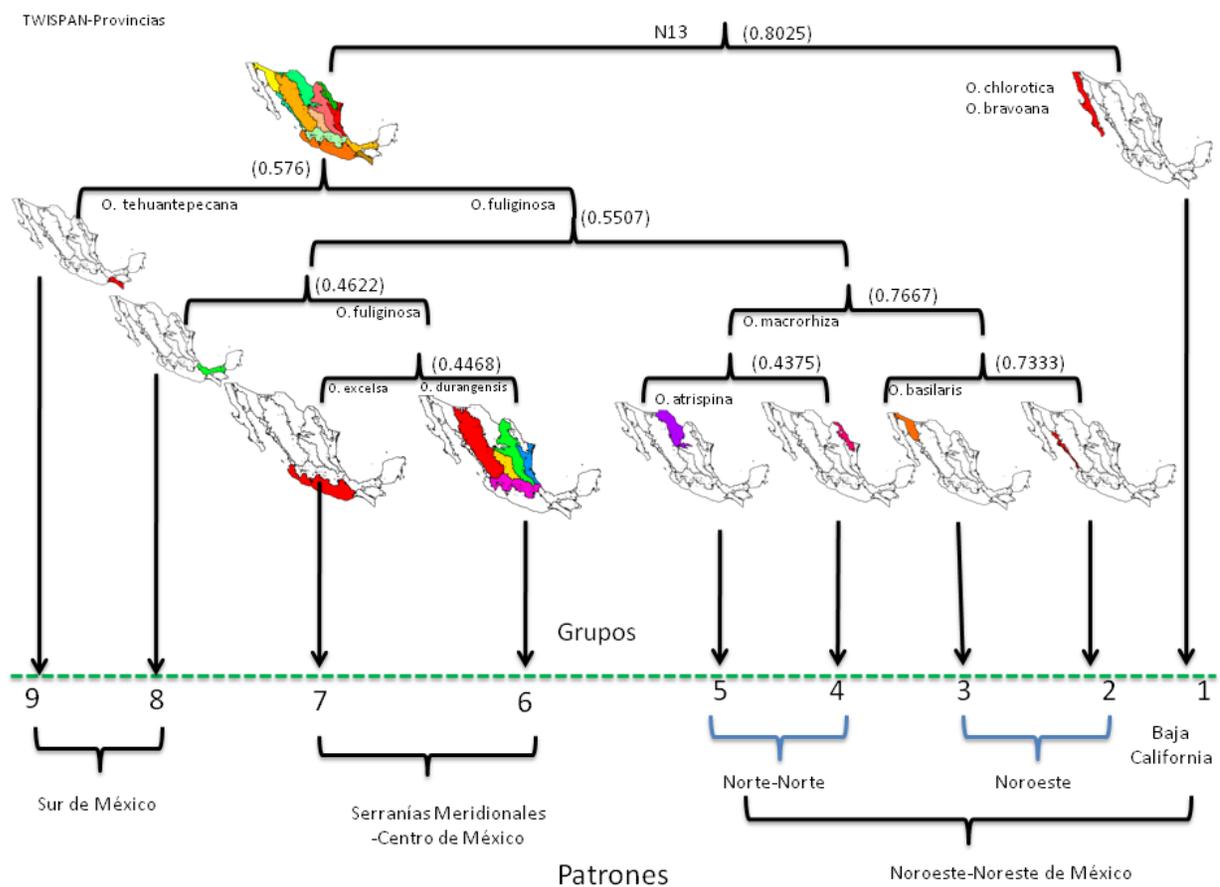


Figura 13. Dendrograma de los grupos de provincias fisiográficas de México por TWISPAN, con base en su composición de especies de *Opuntia*.

Patrón 1. Noroeste-Noreste de México.

Este patrón se subdivide en tres conjuntos: 1.1 Baja California, 1.2 Noreste de México y 1.3 Norte-Norte de México.

El conjunto 1.1 Baja California lo integra únicamente el grupo 1; Península de Baja California (Figura 14), es un conjunto que se generó desde el nivel 1 de la clasificación. Las especies indicadoras son *O. bravoana* y *O. chlorotica*, a las que se agregan *O. lagunae*, *O. littoralis*, *O. oricola* y *O. tapona*, endémicas de esta provincia. Con características ambientales propias que la hacen diferente al área propiamente continental.

El conjunto 1.2 Noroeste de México (Figura 14), integrado por los grupos; 2 (Llanura Costera Pacífico Norte) y 3 (Llanura Sonorense), los cuales se definieron en el nivel 5 de la clasificación, con *O. basilaris* como especie indicadora, a la que se agregan para esta región; *O. chlorotica*, *O. decumbens*, *O. engelmannii*, *O. feroacantha*, *O. macrocentra*, *phaeacantha*, *O. pubescens*, *O. rileyi*, *O. spraguei* y *O. wilcoxii*.

El conjunto 1.3 Norte-Norte de México lo integran los grupos; 4 (Sierras y Llanuras del Norte) y 5 (Grandes Llanuras de Norteamérica), que se definieron en el nivel 5 de la clasificación, con *O. atrispina* como especie indicadora, a la que se agregan para esta región; *O. azurea*, *O. basilaris*, *O. cantabrigensis*, *O. dillenii*, *O. engelmannii*, *O. fragilis*, *O. macrocentra*, *O. macrorhiza*, *O. microdasys*, *O. phaeacantha*, *O. polyacantha* y *O. rastrera*.

Patrón II. Sierras Madre -Centro de México.

Definido en el nivel 5 de la clasificación, conformado por seis provincias fisiográficas, las cuales integran los grupos 6 y 7 (Figura 14). En el grupo 6 (Sierras Madre Occidental y Oriental, Llanura Costera del Golfo Norte, Mesa Central y Eje Neovolcánico), siendo *O. duranguensis* la especie indicadora. Es el patrón de distribución con la mayor riqueza de *Opuntia*, como ya sea destacado en otros trabajos (Velázquez, 1962; Reyes y Aguirre, 2006), pues incluye a 47 especies: *O. atrispina*, *O. atropes*, *O. azurea*, *O. bensonii*, *O. cantabrigensis*, *O. chaffeyi*, *O. chlorotica*, *O. cochineria*, *O. decumbens*, *O. depressa*, *O. dillenii*, *O.*

durangensis, *O. elizondoana*, *O. engelmannii*, *O. fuliginosa*, *O. guilanchi*, *O. howeyi*, *O. huajuapensis*, *O. humifusa*, *O. hyptiacantha*, *O. jaliscana*, *O. joconostle*, *O. lasiacantha*, *O. leucotricha*, *O. macrocentra*, *O. macrorhiza*, *O. megacantha*, *O. megarhiza*, *O. microdasys*, *O. neochrysacantha*, *O. orbiculata*, *O. phaeacantha*, *O. pilífera*, *O. polyacantha*, *O. pubescens*, *O. rastrera*, *O. rileyi*, *O. robusta*, *O. scheeri*, *O. spinulifera*, *O. spraguei*, *O. stenopetala*, *O. streptacantha*, *O. tomentosa*, *O. velutina*, *O. wilcoxii* y *O. zamudioi*.

Esta es la zona geográfica donde converge la intercepción con mayor riqueza para *Opuntia* (34 especies), correspondiente al cuadrante 20° a 23° latitud norte y 99° a 101° Longitud oeste.

Grupo 7 (Sierra Madre del Sur) definido en el nivel 5 de la clasificación, con *O. excelsa* como especie indicadora y únicamente presente en esta provincia.

Siendo *O. chaffeyi*, *O. elizondoana*, *O. excelsa*, *O. howeyi*, *O. humifusa*, *O. nejapensis*, *O. orbiculata*, *O. parviclada*, *O. megarhiza*, *O. tehuacana* y *O. zamudioi* especies endémicas de esta región.

Patrón III Sur de México

Lo integran los grupos 8 (Llanura Costera del Golfo Sur) definido en el nivel 4 de la clasificación, y el grupo 9 (Cordillera Centroamericana), definido en el nivel 3 de la clasificación (Figura 14). *O. tehuantepecana* es la especie indicadora de este conjunto. Este conjunto presenta 22 especies: *O. atropes*, *O. bensonii*, *O. decumbens*, *O. depresa*, *O. dillenii*, *O. excelsa*, *O. fuliginosa*, *O. huajuapensis*, *O. hyptiacantha*, *O. lasiacantha*, *O. megacantha*, *O. nejapensis*, *O. parviclada*, *O. pilífera*, *O. pubescens*, *O. spraguei*, *O. streptacantha*, *O. tehuacana*, *O. tehuantepecana*, *O. tomentosa*, *O. velutina* y *O. wilcoxii*. No se presenta ninguna especie endémica en este patrón.

5.3.2 Clasificación de las especies de *Opuntia* con base en su distribución en las provincias fisiográficas

Los grupos de clasificación basados en las especies de *Opuntia* estuvieron formados por Provincias Fisiográficas contiguas. Se requirieron cinco niveles de clasificación (Figura 15). Se identifican tres grandes patrones de distribución de las especies; 1) especies de *Opuntia* características de la Península de Baja California, 2) especies de *Opuntia* del Oeste-centro de México y 3) especies del Noreste-noroeste de México.

Clasificación Twispán para especies de *Opuntia*

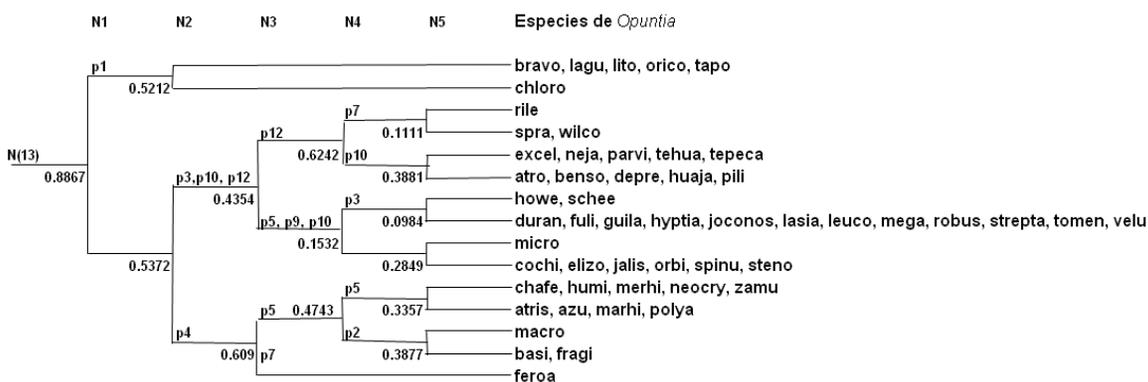


Figura 14. Clasificación de especies de *Opuntia* con base a su distribución en las provincias fisiográficas.

En general esta clasificación apoya la clasificación por provincias. El patrón uno y tres de especies (Península de Baja California y noreste-noroeste de México) corresponde al patrón I Noroeste-noreste de México basado en provincias; mientras que el patrón dos de especies (Oeste-centro de México) correspondería al patrón II (Sierras Madre - centro de México) y III (Sur de México) de provincias (Figura 15).

6. Discusión

6.1 Aspectos descriptivos y geográficos

De los 1783 registros depurados, se encontraron 60 especies de *Opuntia* de las 76 propuestas por Guzmán *et al.*, (2003) lo cual equivaldría al 78.94 % de las especies presentes en México, lo que indica dos reflexiones: a) los principales herbarios del país (IBUG, IEB, SLP y MEXU), junto las bases biológicas de INEGI y SNIB-CONABIO utilizados para el presente estudio, no contienen representada toda la riqueza de especies de *Opuntia* propuesta para México, existiendo gran redundancia en los registros y/o b) se debe considerar la recolección de datos de ejemplares de *Opuntia*, en todas las colecciones de instituciones mexicanas aún sean pequeñas o representativas. Para estimar la riqueza y distribución total de especies de *Opuntia* en México o la ausencia de estas en las colecciones nacionales.

Con base en los resultados obtenidos, al menos una especie de *Opuntia* estuvo presente en las 15 provincias fisiográficas utilizadas. Las provincias fisiográficas con mayor riqueza para *Opuntia* son: Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Mesa del Centro, que en conjunto ubican la zona de intercepción geográfica 20° a 23° latitud norte y 99° a 101° longitud oeste la cual presento la mayor riqueza de especies de *Opuntia* (34).

Algo interesante a mencionar es que entre los 23° a 30° latitud norte se encuentran los desiertos Sonorense y Chihuahuense, considerados regiones de gran diversidad y riqueza para cactáceas (Robbins, 2003; Hernández *et al*, 2004). Aunque para el caso de *Opuntia* la zona 20° a 23° latitud norte, antes mencionada, se caracteriza por tener condiciones climáticas menos secas; con ausencia del tipo climático BW (muy áridos), presente en los desiertos antes mencionados.

La alta riqueza de *Opuntia* en la provincias Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico, puede ser explicada, en parte, porque en esta zona convergen los climas más favorables para *Opuntia* climas BS₁, y BS₀ (Mourelle y Ezcurra, 1996); vegetación de tipo xerófila (Rzedowski, 1991), con predominancia

de suelos feozem, leptosol, gipsisol y vertisol, que van de textura media a gravosa. Y altitudes entre los 1000 a 2500 m, rangos que poseen la mayor riqueza de especies de *Opuntia*.

Otras dos provincias de gran riqueza para *Opuntia* son la Sierra Madre Occidental, y la Sierra Madre del Sur; que junto con las tres anteriores mencionadas forman el gran patrón de distribución II. Serranías Meridionales-Centro de México, discutido más a delante.

Con base en Guzmán *et al.* (2003), mencionan que los estados de más alta riqueza para *Opuntia* son; Jalisco, Querétaro, Oaxaca, San Luis Potosí y Zacatecas. Mientras que Scheinvar *et al.* (2009) mencionan a Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas como los estados de mayor riqueza.

Por su parte Golubov *et al.* (2005), mencionan en especial la zona del desierto Chihuahuense, el área del Bajío y las serranías asociadas al Eje Neovolcánico con mayor diversidad alfa para *Opuntia*. Finalmente Reyes y Aguirre (2006) mencionan que las regiones geográficas con alta riqueza para especies de *Opuntia* son; la Altiplanicie Meridional, la Altiplanicie Septentrional y la Planicie Costera noroccidental.

Las provincias de menor riqueza para *Opuntia* fueron; la Península de Yucatán, las Sierras de Chiapas y Guatemala y la Llanura Costera del Golfo Sur. En general, anteriores estudios para *Opuntia* en base a Guzmán *et al.*, 2003; Golubov *et al.*, 2005; Reyes y Aguirre, 2006 y Scheinvar *et al.*, 2009 muestran mucha similitud en las provincias fisiográficas con menor riqueza para *Opuntia*.

Cabe mencionar que de acuerdo índice de riesgo (IRI) basado en 18 factores que afectan la biodiversidad (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF, UANL, 2007) se encontró que las tres ecorregiones en el nivel nacional más amenazadas se ubican principalmente en Sierra Madre Occidental, porción central norte del Altiplano Mexicano (planicies del Desierto Chihuahuense) y Eje Neovolcánico, coincidiendo con las áreas de mayor riqueza de *Opuntia* encontradas en el

presente estudio, por lo cual sería de gran interés determinar el estado real y actual de dicha zona para la conservación de *Opuntia*.

En resumen los estados y regiones propuestos por los diferentes autores (Guzmán *et al.*, 2003; Golubov *et al.*, 2005; Reyes y Aguirre, 2006 y Scheinvar *et al.*, 2009). Coinciden en gran parte, con las provincias fisiográficas de mayor riqueza para especies de *Opuntia* encontradas en el presente trabajo; a excepción de la Planicie Costera noroccidental propuesta por Reyes y Aguirre (2006). Siendo la nomenclatura taxonómica utilizada por cada autor y las bases y/o referencias de datos utilizada en cada trabajo, lo que genera gran diferencia en resultados.

Las especies más ampliamente distribuidas en el presente trabajo fueron *O. engelmannii* presente en diez provincias, Guzmán *et al.* (2003) la mencionan en siete estados; *O. decumbens* y *O. pubescens* presentes en ocho provincias, Guzmán *et al.* (2003) las menciona en 16 y 19 estados respectivamente.

Las especies antes no necesariamente coinciden con las especies que presentan mayor número de registros, a excepción de; *O. decumbens*, *O. engelmannii* y *O. robusta* las cuales presentan gran cantidad de registros en la colectas y a su vez son de las más ampliamente distribuidas

Reyes y Aguirre (2006) basados en revisión bibliográfica mencionan que *O. hyptiacantha*, *O. streptacantha* y *O. velutina* son las especies más ampliamente distribuidas en cuatro o cinco regiones fisiográficas de las 16 de Tamayo (1988), no coincidiendo estos datos con las encontradas para el presente trabajo.

Las especies restringidas o endémicas (18= 23.68% del total) a una provincia son: *O. bravoana*, *O. lagunae*, *O. littoralis*, *O. oricola* y *O. tapona* (Península de Baja California). *O. howeyi* (Sierra Madre Occidental), *O. chaffeyi*; *O. megarhiza*, *O. humifusa* y *O. zamudioi* (Sierra Madre Oriental); *O. feroacantha* (Llanura Costera del Pacífico); *O. orbiculata* (Mesa del centro); *O. elizondoana* (Eje Neovolcánico); *O. excelsa*, *O. nejapensis*, *O. parviclada* y *O. tehuacana* (Sierra Madre del Sur).

Lo anterior coincide con Guzmán, *et al.* (2003), los cuales las mencionan como especies restringidas a uno o dos estados. Mientras que Reyes y Aguirre (2006) mencionan las regiones con más endemismos para *Opuntia* son; Baja California

(seis especies), la Altiplanicie (16 especies) y la Planicie Costera Noroccidental (cinco especies). Coincidiendo parcialmente con el presente trabajo, en las regiones, difiriendo en la riqueza.

Estas comparaciones apoyan lo encontrado a nivel nacional, en cuanto a especies restringidas o endémicas, de la flora fanerogámica de México, las cuales en general presentan un patrón de distribución en; a) en la mitad septentrional de México (Sierra Madres, Mesa del centro y Eje Neovolcánico) y b) la vertiente Pacífico de México (Llanura Sonorense, Llanura Costera del Pacífico y Sierra Madre del Sur). Destacando la Península de baja California, Depresión del Balsas, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Sierra Madre Occidental y Oriental; considerados como “islas ecológicas” para diversos taxones xerofitos (Rzedowski, 1991,1992; CONABIO, 1995; Méndez *et al.*, 2004).

Rzedowski (1991) a su vez menciona que a nivel de especies endémicas, en regiones xerofitas, el endemismo se relaciona directamente con el grado de aridez climática, lo que está de acuerdo con lo encontrado en el presente trabajo (ver punto 6.2 patrones de distribución).

El esfuerzo de recolecta mayor se realizó en el Eje Neovolcánico, seguido de la Sierra Madre Oriental y Mesa Central, coincidiendo con la zona geográfica de mayor riqueza mencionada previamente, observándose una relación directa esfuerzo de recolecta-riqueza.

La única provincia con relación contraria, menor esfuerzo de recolecta-mayor riqueza fue la Sierra Madre Occidental (8.02% esfuerzo de recolecta y una gran riqueza de 28 especies), contrastando con lo propuesto por Reyes y Aguirre (2006) mencionando solo una especie (*O. streptacantha*), para esta provincia.

Con base en los anteriores resultados se infiere, que pueda haber más especies de las registradas, por sesgos en el esfuerzo de recolecta y/o una gran riqueza a pesar de la baja abundancia de registros, siendo un punto de interés a estudiar más a detalle, que determine o estime la riqueza real de *Opuntia* y sus posibles endemismos en esta provincia.

Aunque en algunos casos, de acuerdo con Escalante *et al.* (2000); Mourelle y Ezcurra (1996), la determinación de zonas de alta riqueza están sujetas a diversos sesgos en su determinación debido básicamente a: (1) que algunas regiones son más accesibles que otras y los esfuerzos de recolecta pueden ser heterogéneos y (2) muchos expertos prefieren especies raras y las especies comunes pueden ser mal representadas, por omisión.

También cabe mencionar que el mayor esfuerzo de recolecta fue menor durante las primeras cuatro décadas del siglo XX, producto de los movimientos político-sociales del país, donde había muy pocas o casi nulas expediciones botánicas (Rzedowski y Calderón, 2007; Simonian, 1999), siendo a partir de los 50's la creación de los primeros institutos y herbarios los que comienzan con la tarea de documentar y conservar la biodiversidad del país, a pesar de sus pocos participantes. Las expediciones botánicas toman gran auge en la décadas de los 80's y 90's dado el mayor interés a nivel institucional y gubernamental en conocer mejor la diversidad del país dado las políticas internacionales ambientales prevalecientes sobre desarrollo sostenible y mayor conservación y conocimiento de la biodiversidad, a partir de los convenios internacionales, lo cual genera más apoyo a instituciones para tal efecto (Simonian, 1999). Viéndose reflejado esto en mayor esfuerzo de recolecta para *Opuntia* (Figura 4).

En cuanto a los principales sustratos geológicos que sustentan los diversos tipos de suelos y la presencia de *Opuntia* son: rocas ígneas extrusivas, sedimentarias y de origen aluvial.

Mientras que los tipos de suelo dominante a escala 1:1, 000,000 donde más se recolectó *Opuntia* están el feozem, leptosol y regosol. Caracterizados por estar presentes en la mayoría de tipos climáticos y ser los más abundantes del país, poco desarrollados y gravosos (leptosol y regosol). El feozem es el más húmedo de los tres, predominando en climas continentales interiores, bordeando las serranías meridionales principalmente, donde se distribuye una alta riqueza de especies de *Opuntia*.

Flores *et al.* (1995) mencionan que los principales tipos de suelos donde se desarrollan los mejores cultivos de *Opuntia* son precisamente el feozem y regosol. La vegetación predominante escala 1: 1,000, 000 en donde se ubicaron poblaciones de *Opuntia* fue en; vegetación perturbada (54%), matorral xerófilo (17.5 %), bosque de encino-pino, pino-encino y selvas bajas (8 % cada una respectivamente), y pastizal natural (4.2%). CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF, UANL (2007), mencionan que la vegetación primaria ha sido drásticamente afectada por procesos de deforestación y fragmentación, quedando remanentes de la cobertura original. Por lo que de acuerdo a su afinidad florísticas el género *Opuntia* se desarrollaría típicamente en matorrales xerofitos y bosques tropicales caducifolios (selvas bajas) con base a Rzedowski (1991,2006).

6.2 Distribución de *Opuntia* con base a gradientes latitudinales

La ordenación mediante el análisis de correspondencia sin tendencia, indico que las variables ambientales más importantes de mayor correlación positiva para el primer eje fueron los tipos climáticos muy áridos a áridos BSKs, BWhs y BWks todos con una correlación de 0.9862, seguida por Ms, BW(h.)(x) y BW(h.x.) todos con una correlación de 0.8852. Mientras que las variables negativas de más alta correlación para el mismo eje fueron; BS1kw (semiárido) y BS0kw (árido) (-0.6086 ambas), seguidas de tipos climáticos subhúmedos (A)C(w0) y C(w1) (-0.5238 y -0.5102 respectivamente). Por lo que la distribución de *Opuntia* muestra un gradiente latitudinal, de provincias y especies, va de norte a sur en el eje uno definido por una ordenación climática influenciada con base en la humedad, y en el eje dos una ordenación de noroeste a noreste, al parecer de acuerdo con su temperatura. Existiendo efectos combinados de los factores; sustrato geológico, suelo, fisiografía, que junto con el clima, influyen y determinan el tipo de vegetación donde se ubica *Opuntia*.

Por lo que los bajos valores de correlación del eje dos, corroboran la importancia del primer eje en la explicación del alto grado de correspondencia entre sitios y especies.

A cada factor ambiental utilizado (sustrato geológico, tipo de suelo, vegetación y clima), se analizó su ordenación por separado (las cuales no se presentan en este estudio), pero se determinó que la ordenación separada del sustrato geológico y el suelo se relacionan indirectamente con la fisiografía y altitud; mientras que el clima está distribuido con base en la humedad y temperatura. Mientras que la vegetación esta ordenada en base a los anteriores factores. Lo anterior ya ha sido documentado por Rzedowski (2006) el cual menciona los factores ambientales que determinan los tipos de vegetación de México.

Así, la distribución de *Opuntia* en México es producto de los gradientes latitudinales climáticos. Producto de una compleja historia geomorfológica, ubicación geográfica; que originaron una cordillera peninsular (Baja California) y varias cordilleras continentales de diverso origen: a) por vulcanismo (Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico) y b) por plegamiento (Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y Sierras transísmicas). Confinando entre estas cordilleras, las mesetas (Mesa central, las Llanuras y Grandes Llanuras del Norte) y depresiones (Balsas y Chiapas) (CONABIO, 2007). Dando al territorio mexicano la forma de embudo; amplio al norte y estrecho al sur; que junto con la acción de los vientos alisios y la oscilación estacional subtropical de alta presión, producto de su ubicación geográfica (CONABIO, 2007); originan patrones climáticos muy heterogéneos. Estos patrones climáticos van de muy secos a subhúmedos y húmedos de norte a sur. Secos y subhúmedos en la vertiente Pacífico a húmedos en la vertiente del Golfo de México; propiciando gran variedad de ecosistemas; presentando gran heterogeneidad ambiental a nivel nacional.

Es interesante hacer notar que relacionando los patrones de distribución de *Opuntia* con base en su forma vital, se determina que las especies tanto rastreras como arbustivas, están presentes en todo el espectro latitudinal donde se localiza

Opuntia. Mientras que las formas arbóreas sólo están presentes en las provincias de las Sierras Madres, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico, en zonas con climas (A)C y A, que son los climas en donde mejor se desarrollan las formas biológicas arbóreas (Bravo, 1978, Reyes y Aguirre; 2006).

Comparando estos resultados con base en Mourelle y Ezcurra (1996), ellos encontraron que la distribución de las cactáceas en Argentina, entre ellas *Opuntia*, estaba determinada por los "...factores ambientales que operan a escala regional, en su mayoría están vinculados a la variación climática, los cuales representaron una gran proporción de la variación geográfica observada en la riqueza de especies de cactus ", siendo *Opuntia* la que se encuentra en todo el gradiente latitudinal dada su gran adaptación climática, producto de su evolución.

En relación con la distribución de las series taxonómicas propuestas por Bravo (1978), llama la atención que la mayoría de las 17 series están presentes en las provincias Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico, coincidiendo con la alta riqueza de esas regiones para *Opuntia*; infiriéndose que estas provincias tienen las altas tasas evolutivas para el género.

En tanto que la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur contienen aproximadamente representantes de la mitad de estas series taxonómicas, pese a su alta riqueza de especies, indicando una menor evolución del género en estas provincias. El resto de las provincias presentan pocas series (una a cuatro), lo que explica su baja riqueza desde el punto de vista taxonómico y evolutivo.

En suma la amplia distribución de *Opuntia* en todas las provincias fisiográficas, se explica con base a gradientes latitudinales y climáticos, dada la gran heterogeneidad ambiental de México. Así como gran tolerancia debido básicamente a su gran adaptación evolutiva, capacidad reproductiva vegetativa y sexual y su adaptación fotosintética (CAM) (Gibson y Nobel ,1986; Mourelle y Ezcurra, 1996; Rebman y Pinkava, 2001; Reyes *et al.*, 2006).

6.3. Patrones de distribución

La clasificación mediante TWISPAN en el presente estudio generó tres patrones latitudinales principales de distribución para *Opuntia* en México: **I) Noroeste-Noreste de México, II) Sierras Madre-Centro de México y III) Sur de México.**

El patrón I. Noroeste-Noreste de México, es el segundo en riqueza y endemismos para *Opuntia*; presenta 42 especies (55.26% del total) y 7 endemismos (9.21% del total). Guzmán *et al.* (2003) registran 30 especies; por su parte Golubov *et al.* (2005) registran 19-25 especies; Reyes y Aguirre (2006) registran 26; lo cual va del 33 al 39% de total de las especies.

En este patrón se presentan tres subpatrones: 1.1) Baja California, 1.2) Noreste de México y 1.3) Norte-Norte de México.

El subpatrón 1.1) Baja California; requiere una mención aparte debido su evolución histórico-ambiental de manera aislada; esta provincia se asienta en la Placa Tectónica del Pacífico, se formó entre el Mioceno medio (15 Ma.) y Mioceno Tardío (10-5 Ma). En el Plioceno (5 Ma); se forma el Golfo de California (Demant y Robin, 1975; Helenes y Carreño, 1999). Con una topografía regional abrupta, forma una dorsal montañosa con dirección norte-sur, propiciando climas locales únicos determinados por la circulación de los vientos y las corrientes oceánicas, que junto con los suelos dan gran heterogeneidad ambiental, dominando climas secos semicálidos, influenciada florísticamente por elementos pantropical, madreano, holártico y xerofito-mexicanos, siendo este último el dominante (70% en la península) (Peinado, *et al.*, 1994), aunado a su aislamiento geográfico continental, se propician endemismos o cuasi endemismos en diversas especies entre ellas *Opuntia* (*O. bravoana*, *O. lagunae*, *O. littoralis*, *O. oricola* y *O. tapona*). Guzmán *et al.* (2003) y Reyes y Aguirre (2006).

El Subpatrón 1.2 Noreste de México, con provincias asentadas en la Placa Tectónica Norteamericana. Dentro de este la Llanura Sonorense es de las más antiguas del país, datan afloramientos del Proterozoico, Paleozoico y Mesozoico (López, 1981; *et al.*, 2007). En general la zona se formó durante la orogenia

Larámide Cretácico Tardío (70 Ma) hasta el Eoceno (34 Ma), producto de cabalgamientos y de un metamorfismo a lo largo del cinturón orogénico de la Sierra Madre Occidental, originada por depósitos eólicos y aluviales (Calmus *et al.*, 2010).

Aunque su levantamiento sucedió en el Plioceno-Cuaternario, la mayor parte de esta provincia está formada por depósitos aluviales en llanuras y bajadas; con dominancia de planicies áridas sedimentarias y serranías menores, que forman un mosaico complejo con climas tipo B de norte a sur y en menor proporción climas A en las costas. Intercalándose diferentes ecosistemas fragmentados, dando una gran biodiversidad. Presente *O. feroacantha* como especie endémica de este patrón. Reyes y Aguirre (2006) mencionan para esta misma región 5 endemismos.

El subpatrón 1.3 Norte-Norte de México; provincias asentadas en la placa Tectónica Norteamericana, producto de diferentes eventos tectónicos que van de finales del Jurásico Superior (155 Ma), al Paleoceno (60 Ma), en los cuales formaron cuencas y plataformas en las que se depositaron elementos clásticos, aluviales y marinos producto de las transgresiones y regresiones del mar, donde el último gran evento tectónico Larámide, elevó dicha zona.

Por lo que en suma podemos mencionar para este patrón, que está asentado en una de las regiones más antiguas geológicamente, con predominancia de los grupos climáticos BW, BS₀ y BS₁ y el tipo climático A(C) en zonas de costa. Influenciado florísticamente por elementos pantropical (Costas), madreano, holártico (partes altas) y xerofito-mexicanos. Siendo el segundo en riqueza y endemismos para *Opuntia*.

El patrón II. Serranías Meridionales-Centro de México, es el primero en riqueza para *Opuntia*, con 47 (61.84%) especies y 11 endemismos (14.47% del total) *O. chaffeyi*, *O. elizondoana*, *O. excelsa*, *O. howeyi*, *O. humifusa*, *O. orbiculata*, *O. megarrhiza*, *O. nejapensis*, *O. parviplada*, *O. tehuacana* y *O. zamudioi*. En este patrón Guzmán *et al.* (2003) registran 35 especies; Golubov *et al.* (2005) registran 28 especies. Reyes y Aguirre (2006) registran 28 especies. Las provincias de este

patrón están asentadas en la Placa Tectónica Norteamericana, todas producto de la orogenia Larámide (Demant y Robin, 1975; Eguiluz *et al*, 2000; Ferrari *et al*, 2005; Padilla, 2007).

Con sustrato geológico predominante de rocas ígneas (Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur), sedimentarias y aluviones (Sierra Madre Oriental y Mesa del Centro); las partes altas de las provincias antes mencionadas, excepto la Mesa del Centro, son de afinidad florística mesoamericana de montaña, y las partes de ladera y bajas, afinidades florísticas meridionales y xerófito mexicanas. El Eje Neovolcánico contiene mezclas de elementos florísticos boreales y meridionales (Rzedowski, 1991, 2006). En este patrón se presentan los grupos climáticos A (C), B y C(w). Aquí se localiza la zona geográfica de mayor riqueza para *Opuntia*, como se mencionó anteriormente.

El patrón III. Sur de México, es el tercero en riqueza de *Opuntia*. En conjunto presenta 22 especies (28.95%), sin ningún endemismo. Con base en Guzmán *et al* (2003) registran 28 especies. Por su parte Golubov *et al*. (2005) registran 25 especies. Mientras que Reyes y Aguirre (2006) registran 14 especies.

Las provincias de este patrón sureño están asentadas en la Placa Tectónica de Norteamérica, excepto la porción sur de la Cordillera Centroamericana, asentada en la Placa Tectónica del Caribe; datan depósitos del Triásico (200 Ma) al Paleógeno (20 Ma), con una compleja historia geológica, producto de plegamientos y levantamientos. Con afinidades florísticas meridionales y en las partes altas elementos florísticos de alta montaña (Rzedowski, 2006).

En general se puede concluir que los trabajos que analizan la distribución de *Opuntia* en México con base en Guzmán, *et al*. (2003) y Scheinvar *et al*. (2009) no determinan ningún patrón de distribución específico para *Opuntia* en México, sólo muestran su distribución a escala estatal. Y si está presente o no dentro las áreas naturales protegidas (Scheinvar *et al.*, 2009).

Por otro lado la diversidad alfa y beta de *Opuntia* estimada a partir de cuadrantes en modelación GARP escala 1:4,000, 000 con base en Golubov, *et al*. (2005),

identifica dos zonas o patrones principales donde se distribuye y se encuentra la mayor riqueza alfa potencial para *Opuntia* en: **a)** la Zona del Desierto Chihuahuense y la región Centro-oeste (Jalisco, Guerrero y Estado de México, producto de la heterogeneidad ambiental y topográfica y **b)** el Bajío y Serranías asociadas al Eje Neovolcánico; las cuales coinciden básicamente con el patrón II. Serranías Meridionales-Centro de México del presente trabajo. Cabe mencionar que este es el único trabajo que utiliza variables ambientales (no mencionadas) para determinar la distribución potencial de *Opuntia* en México.

Mientras que Reyes y Aguirre (2006) reconocen dos patrones principales del subgénero *Opuntia*; 1) Patrón Sur-Sureste de México (Región Golfo, Sur de México y Chiapas), equivalente al patrón III. Sur de México en el presente trabajo y 2) Patrón Centro-Noroeste de México (Altiplanicies y Noroeste de México), equivaliendo con el patrón I. Noroeste-Noreste de México y parte del patrón II, Serranías Meridionales-Centro de México. Sus patrones los determinan con base a revisión bibliográfica; utilizando las unidades orogénicas y regiones geomórficas de Tamayo (1988) para determinar la distribución de *Opuntia*; sin embargo difieren en lo respectivo la riqueza de especies de *Opuntia*, manejando valores muy diferentes en riqueza en comparación con el presente trabajo, comentados en anteriores párrafos.

En vista de que los patrones generados por *Opuntia* en México escala 1:1,000,000, en el presente trabajo, están determinados por un gradiente latitudinal, definido principalmente por gradientes climáticos, producto de la gran heterogeneidad climática y por ende ambiental de México. Obtenidos a partir del análisis multivariable de datos de colectas biológicas y variables ambientales de tipo edáfico, tipo de vegetación y tipo climático, determinadas a partir de un SIG. Se propone la hipótesis de heterogeneidad ambiental, “-la cual propone que un hábitat heterogéneo puede ofrecer más micro-hábitat y por ende mayor disponibilidad de ser ocupados-“ (Real *et al.*, 1999); para explicar la gran riqueza y amplia distribución de *Opuntia* (sensu stricto) en México.

En México la mayoría de los patrones de distribución y riqueza de diversos taxones (Koleff y Soberón, 2008; Morrone y Llorente, 2003; Rodríguez et al., 2003;) han sido explicados principalmente con base en la hipótesis de heterogeneidad ambiental, Ayudando a explicar a grandes rasgos la alta biodiversidad y endemismos existentes en México.

Además de esta hipótesis diversos autores (Pianka, 1966; Willing, 2003; Rodríguez y Arita ,2005) proponen que la explicación de los patrones latitudinales puede basarse en diversas hipótesis o mecanismos (para mayor referencia ver Pianka, 1996; Willing, 2003), operando uno o varios mecanismos simultáneamente. Para ello se requieren diferentes variables o factores ambientales abióticos y bióticos, los cuales puedan ser utilizados, en la explicación de dichas hipótesis (Pianka, 1966; Mourelle y Ezcurra, 1996; Real *et al.*, 1999; Willig, 2003).

Pianka (1966) y Willing (2003) mencionan que los factores que pueden explicar los patrones de distribución, varían de acuerdo al taxon, jerarquía, escala y espacio estudiado. Por lo que Rodríguez *et al.* (2003), mencionan "...- a la fecha no se puede concluir acerca de la existencia de patrones generales"- ya que aún dentro de un mismo taxón muestran inconsistencias de acuerdo a la escala y variables utilizadas.

Lo anterior se ve reflejado en los trabajos de Golubov *et al.* (2005) y Reyes y Aguirre (2006), con base a sus patrones y riqueza propuestos para *Opuntia*, en comparación con el presente trabajo.

7. Conclusiones

Del total de especies de *Opuntia* analizadas (60), 18 especies (23.68%) son de distribución restringida (endémicas), no encontrando endemismos en el patrón III. Sur de México. En contraste las cuatro especies más ampliamente distribuidas en más del 50% de las provincias son: *O. engelmannii*, *O. decumbens*, *O. dillenii* y *O. pubescens*.

Las provincias con menos registros fueron, Sierras de Chiapas y Guatemala (1), seguido de Grandes Llanuras de Norteamérica (11), Llanura Costera del Golfo Sur (14), Cordillera Centroamericana (17), Llanura Costera Pacífico y Península de Yucatán (ambas con 18). En Contraste las provincias con registros mayores a 300 son; Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico.

La relación esfuerzo de recolecta-riqueza tiene un comportamiento lineal positivo muy fuerte, a excepción de la Sierra Madre Occidental que tiene un efecto independiente del esfuerzo de recolecta.

La ausencia de algunas especies del total propuesta a nivel nacional (Guzmán, *et al*, 2003) y escasas de registros de algunas especies, sugiere la necesidad de una revisión más extensa en las colecciones biológicas de todo el país, para efectivamente estimar la riqueza de *Opuntia* a nivel nacional. Así como determinar sesgos en la recolectas por los especialistas o falta de las mismas, sugiriendo áreas de exploración para tal fin.

Se propone la Sierra Madre Occidental para nuevas exploraciones dada su alta riqueza y poca abundancia de recolectas.

El Sur de México también se propone para una nueva exploración botánica a fin de determinar los cambios en riqueza y sesgos en las recolectas para *Opuntia*.

Opuntia se encuentra en todo el rango latitudinal de México, pero la mayor riqueza (34 especies) encontrada en la intercepción geográfica 20° a 23° latitud norte y 99° a 101° longitud oeste, indica que *Opuntia*, al contrario de lo que se cree generalmente, está se desarrolla mejor en entre los 1500- 2500 msnm, en climas BS1, (BS1K) Semiáridos-templados y C(w) subhúmedos-templados, suelos

feozem, leptosol y regosol. Zonas semisecos y templadas que bordean los grandes desiertos mexicanos más áridos.

La provincia Sierra Madre Occidental junto con la intercepción geográfica antes mencionada, debe ser tomada en consideración, con base en ser las regiones más susceptibles y más altamente consideradas en riesgo por CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF, UANL (2007) en la fragmentación y destrucción de su hábitat.

La ordenación de las provincias mostro un gradiente latitudinal que va en dirección norte-sur y en dirección noreste-noroeste determinado con base en factores climáticos predominantemente.

La clasificación generó tres patrones principales de distribución para *Opuntia*: I) Noroeste-Noreste de México, II) Sierras Madre-Centro de México y III) Sur de México, los cuales al parecer, están determinados básicamente por gradientes climáticos se apoya la hipótesis de la heterogeneidad ambiental, para explicar la distribución geográfica del género *Opuntia* (sensu stricto) en México.

Los resultados coinciden con los encontrados por Mourelle y Ezcurra (1996) para las cactáceas de Argentina, donde sus patrones y riqueza están determinados principalmente por factores climáticos.

A groso modo todos los trabajos para *Opuntia* a nivel nacional, incluyendo el presente coinciden en que la mayor riqueza para *Opuntia* está en las provincias que se encuentran en la región Centro-Sierras Madre del norte (Sierra Madre Occidental y Oriental, Eje Neovolcánico y Mesa del Centro).

En general el sur de México presenta la menor riqueza.

Las inconsistencias en los patrones obtenidos y riqueza propuesta en los trabajos realizados para *Opuntia* a nivel nacional por otros autores, con el presente trabajo se deben básicamente, a la referencia taxonómica utilizada, la escala, el espacio y bases de datos utilizadas.

Se recomienda mantener actualizadas las bases de datos fitogeográficos generadas en este tipo de estudios, ya que las áreas cambian naturalmente o por acción del hombre. Las bases taxonómicas ya sea primarias y/o secundarias son

la base para los estudios de conservación y biodiversidad referente a un taxón o taxones. Conteniendo la información histórica de las presencias, la cual es una primera aproximación sobre lo que hay (o tal vez hubo), así como su ubicación.

8. Literatura citada

- Aguayo, J. E.; y R. Trápaga. 1996. III. Tectónica actual de México. En: Geodinámica de México y minerales del mar. La ciencia para todos. Editorial Fondo de Cultura Económica. Primera edición digital [En línea] (Consultado el 7 de enero de 2009).
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/141/htm/geodina.htm>
- Aguayo C., J. E. 2005 Neotectotónica y facies sedimentarias cuaternarias en el suroeste del Golfo de México, dentro del marco tectono-estratigráfico regional evolutivo del sur de México. Ingeniería, Investigación y Tecnología. 6: 19-45.
- Aguilar E. M. L.; C. Pérez Olvera y S. Pérez Olvera. 2004. La flora del escudo nacional mexicano. Polibotánica. 18: 53-73.
- Aguirre R.,J. R. 1989. Estudio Fitogeográfico de la cordillera Bética basado en sus endemismos . Tesis Doctoral . Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 286 p.
- Aguirre R., J.R. y J.A. Reyes A. (Editores) 1999. Memoria. VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del Nopal. UASLP-IIZD. Editorial Universitaria Potosina. México. 398 p.
- Alcaraz A., F.J. 2010. Ordenación y clasificación. En: Geobotánica.Tema 14 (versión del 10 de enero de 2010). Universidad de Murcia. España [En línea] (Consultado el 21 de enero de 2010).
<http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema14.pdf>
- Anderson, E. F. 2001. The cactus family. Timber Press. Portland, USA. 776 p.
- Arroyo, J.; J. S. Carrión.; A. Hampe y P. Jordano. 2004. La distribución de las especies a diferentes escalas espacio-temporales. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Valladares F. (Editor.) EGRAF. Madrid, España. pp. 27-67.
- Balleza, J.J.; J.L. Villaseñor; y G. Ibarra M. 2005. Regionalización biogeográfica de Zacatecas, México, con base en los patrones de distribución de la familia Asteraceae. Revista Mexicana de Biodiversidad. 76 (1-2): 71-78.

- Borgen N., L.; H. Manfred; D.S. Shivcham; S.L. Camargo R. y B. Rendón A. 2005. Traditional knowledge and genetic diversity of *Opuntia pilifera* (Cactaceae) in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Economic Botany*. 59 (4): 366-376.
- Bravo H., H. y H. R. Sánchez M. 1978. Las cactáceas de México. Volumen I. 2ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. 743 p.
- Britton N.L. y J.N. Rose. 1937. *The Cactaceae*. Vol. I. Dover Publications, Inc., New York. USA. 236 p.
- Butterworth, C. y Edwards, E.J. 2008. Investigating *Pereskia* and the earliest divergences in cactaceae. *Haseltonia*. 14: 46-53.
- Calmus, T.; R. Amaya M. y J. Róldan Q. 2010. Libroto guía de la excursión 4-5 de marzo del 2010, GeoLaramide. Universidad de Sonora, Hermosillo. 26 p.
- Casas A. 2002. Uso y manejo de cactáceas columnares mesoamericanas. *CONABIO. Biodiversitas*. 40:18-23.
- CONABIO. 1995. Atlas de Reservas de la Biosfera y otras áreas naturales protegidas. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México 120 p.
- CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. [En línea] (Consultado el 16 de agosto de 2009).
http://www.conabio.gob.mx/2ep/index.php/Capital_natural_y_bienestar_social
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF, UANL. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy Programa México, Pronatura, A.C., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Contreras M., R.; I. Vega L. y J.J. Morrone. 2007. Gymnosperms and cladistic biogeography of the Mexican Transition Zone. *Taxon*. 56 (3): 905-915 (11).
- COMENTUNA, Red Nopal y CONABIO. 2008. Nopales, tunas y xoconostles. Consejo Mexicano del Nopal y Tuna, A.C.; Red Nopal y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cartel. 1ª edición, México.

- Cota S., J.H. y R.S. Wallace. 1996. La citología y la sistemática molecular en la familia Cactaceae. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 41: 27-46. [En línea] (Consultado 16 de agosto de 2009). http://www.usask.ca/biology/cota-sanchez/lab/sec/articles/Cota-Sanchez_Wallace_SuMex_1996.pdf
- Cota S., J.H. 2008. Evolución de las cactáceas en la región del Golfo de California, México. En *Estudios de las Islas del Golfo de California*. Flores-Campaña, L.M. (Editor.) Universidad Autónoma de Sinaloa, Gobierno de Sinaloa y CONACYT, México. pp. 67-79.
- Cruz, C.; C. Balbontin; F. Paz; J. Etchevers y P. Krasilnikov. 2007. Los Suelos de México y su Geografía (II). Suelos Dominantes [En línea] Un Universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. Ibáñez, Juan José. (Editor.) (Consultado el 3 de enero de 2010). <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/08/13/71688>
- Dávila A., P.; S. Arias M.; R. Lira S.; J.L. Villaseñor y A. Valiente B. 2002. Phytogeography of the Columnar Cacti (Tribe Pachycereeae) in Mexico: A Cladistic Approach. En *Evolution, ecology and conservation of columnar cacti and their mutualists*. Fleming, T.; y Valiente-Banuet, A. (Editores). University of Arizona Press. USA. pp. 25-41.
- De la Torre G., A. 2009. La geobotánica. Concepto y objetivos de la geobotánica [En línea] (Consultado el 27 de diciembre de 2009) <http://www.ua.es/personal/torre/geobot.htm>
- De la Barrera, E. y W. Smith (Editores), 2009. *Perspectives in biophysical plant ecophysiology. A tribute to Park S. Nobel*. UNAM. México. 440 p.
- Demant, A.; y Robin, C. 1975. Las fases del vulcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. *Revista del Instituto de Geología*. México. 1: 66-79.
- Dirzo, R. 1990. *La biodiversidad como crisis ecológica actual ¿qué sabemos? En Ecología y Conservación en México*. Soberón, Jorge. (Compilador). *Ciencias (Número especial. 4): 48-55*.

- Edwards, E.J.; R. Nyffeler y M.J. Donoghue. 2005. Basal cactus phylogeny: Implications of *Pereskia* (Cactaceae) paraphyly for the transition to the cactus life form. *American Journal of Botany*. 92: 1177-1188.
- Edwards, E.J.; y Donoghue, M.J. 2006. *Pereskia* and the origin of the cactus life form. *The American Naturalist*. 167: ,777-793.
- Eguiluz De A., S.; R. Marrett y M. Aranda. 2000. Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 53: 1-26.
- Escalante, T.; J. Llorente; D. Espinosa y J. Soberon. 2000. Bases de datos y sistemas de información geográfica: Aplicaciones en biogeografía. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 24: 325-341.
- Espadas M., C.; R. Durán y J. Argaez. 2003. Phytogeographic analysis of taxa endemic to the Yucatán Peninsula using geographic information systems, the domain heuristic method and parsimony analysis of endemism. *Diversity and Distributions*. 9: 313-330.
- Ferrari, L.; M. Valencia M. y S. Bryan. 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución del margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 42 (3): 343-378.
- Flannery, K. V. 1985. Los orígenes de la agricultura en México: las teorías y las evidencias. En: *Historia de la agricultura, época prehispánica-siglo XVI*, Vol.1. Rojas R. T. y W.T. Sanders (editores.) INAH. México. pp. 237-266.
- Flores V., C.A.; J.M. De Luna E. y P.P. Ramírez M. 1995. Mercado mundial de la tuna. Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 117 p.
- Gallegos V., C.; C. Valdez C.; M. Barrón M.; A.F. Barrientos P.; A.J. Agustín y A. R. Nieto. 2006. Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del banco del germoplasma del CRUCEN-UACH. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. Enero-Junio 12 (1): 41-49.

- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a ed. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 90 p.
- García Z., E. A.; A. Gutiérrez D.; G.E. Salinas G.; E. Cárdenas C.; R.E. Vázquez A.; F. Zavala G. y J. Martínez De la C. 2006. Clasificación y estimación de la diversidad genética de nopal (*Opuntia* spp.) con base en descriptores fenotípicos y marcadores genético moleculares. *Phyton*. 75: 125-135.
- Godínez A., H.; y P. Ortega B. 2007. Mexican cactus diversity: Environmental correlates and conservation priorities. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 81: 81-87.
- Golubov, J.; M. C. Mandujano y F. Mandujano. 2005. Diversidad alfa y beta en *Opuntia* y *Agave*. Cap. 17: 221-228. En *Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. Halffter, G.; Soberón, J. ; Koleff, P.; y Melic, A. (Eds.) Vol. 4 Monografías Tercer Milenio SEA, CONABIO, Grupo Diversitas-México y CONACYT. Zaragoza, España.
- Gómez T., A.; M.T. Orozco E. y L. Ferrari. 2005. Petrogénesis ígnea de la faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 42: 227-283.
- González D., A.; M.E. Riojas L. y H.J. Arreola N. 2001. El género *Opuntia* en Jalisco. Guía de campo. Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Guadalajara, Jalisco. México. 135 p.
- Gonzalez G., M. 1989. El género *Potamogeton* (Potamogetonaceae) en México. *Acta Bótanica Mexicana*. 6: 1-43.
- González M., F. 2003. Las comunidades vegetales de México: propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. 1ª edición. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México. D.F. 77 p.
- Gorelick, R. 2008. Early cactus evolution. *Haseltonia*. 14: 3-5.

- Graham, C.H.; S. Ferrier.; F. Huettman; C. Moritz y A.T. Peterson. 2004. New developments in museum-based informatic and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution*. Vol.19 (9): 497-504.
- Griffiths, M. P.; y J. M. Porter. 2009. Phylogeny of Opuntioideae (Cactaceae). *International Journal of Plant Sciences*. 170 (1): 107–116.
- Guarino, L.; R. Rao V. y R. Reid (Editores.) 1995. Collecting plant genetic diversity. Technical Guidelines. CABI International. Wallingford, Reino Unido. 748 p.
- Guillot O., D. y P.V. Der Meer. 2006. Algunos taxones nuevos del género *Opuntia Mill.* en la comunidad valenciana. *Flora Montiberica*. 32: 39-50.
- Guzmán U.; S. Arias y P. Dávila. 2007. Catálogo de Cactáceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México, CONABIO. México D.F. 315 p.
- Helenes J. y A.L. Carreño. 1999. Neogene sedimentary evolution of Baja California in relation to regional tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*. 12 (6): 589-605.
- Hernández, H.M. y H.A. Godínez. 1994 Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* [en línea] (fecha de consulta: 10 de enero de 2010). Disponible en:
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57402606>
 ISSN 0187-7151
- Hunt, D. 1999. Cactaceae Checklist. CITIES. Kew Publishing. 315 p.
- INEGI 2009. Aspectos generales del territorio mexicano. Información Geográfica [En línea] (Consultado el 2 de 11 de 2009).
<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&c=909>.
- INEGI 2009. -Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación escala 1:1,000,000 (vectorial) versión 1994 [En línea] (Consultado el 1 de septiembre de 2009).
http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/usu_1000.pdf?s=geo&c=1280
- Diccionario de datos edafológicos escala 1:1,000,000 (vectorial) versión 1998 [En línea] (Consultado el 1 de septiembre de 2009).

http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/eda_1000.pdf?s=geo&c=1273

-Diccionario de datos geológicos escala 1:1,000,000 (vectorial) versión 1999 [En línea] (Consultado el 1 de septiembre de 2009).

http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/geo_1000.pdf?s=geo&c=1275

-Diccionario de datos fisiográficos escala 1:1,000,000 (vectorial) versión 2000. [En línea] (Consultado el 1 de septiembre de 2009).

http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/FIS_1000.PDF?s=geo&c=1274

INEGI, 2008. Catalogo de claves de localidades. [en línea] (Consultado el 18 de noviembre de 2008). Disponible en:

<http://mapserver.inegi.gob.mx/mgn2k/>

INEGI 2005. Guía para la interpretación de cartografía climatológica Aguascalientes. INEGI, 45 p.

Iturralde V., M. A. 2004. La paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la biogeografía histórica. *Revista del Jardín Botánico Nacional, Cuba*. 25-26: 49-78.

Juárez, M.C.; y C.B. Passera. 2002. In vitro propagation of *Opuntia ellisiana* Griff. and acclimatization to field conditions. *Biocell (Mendoza)*. 26 (3) : 319-324.

Juárez, V.; L.O. Alvarado C. y J.L. Villaseñor. 2007. La familia Apocynaceae *sensu lato* en México: diversidad y distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78: 459-482.

Kiesling, R. 1998. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 3: 50-59.

Koleff, P., y J. Soberón. 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, pp. 323-364.

Leps, J. y P. Smilauer. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge University Press. 272 p.

- Lira N., A.; J. Soberón; A.G. Navarro S.; Y. Nakazawa y T. Peterson. 2007. Scale dependency of diversity components estimated from primary biodiversity data and distribution maps. *Diversity and Distributions*. 13:185-195.
- Liria, J. 2008. Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. *Revista mexicana de Biodiversidad*. 79: 281-284.
- Llorente B., J.; y J.J. Morrone. 2005. Regionalización biogeográfica de Iberoamerica y tópicos afines. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 577 p.
- Llorente B., J.; y D.J. Castro G. 2002. Colecciones entomológicas en instituciones taxonómicas de Iberoamérica: ¿Hacia estrategias para el inventario de la biodiversidad? Vol.2: 307-318. En Proyecto de Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática: PriBES 2002 Costa, C.; Vanin, S. A.; Lobo, J. M.; y Melic A. (Eds.). Zaragoza, España.
- López De L., A. y J.M. Olano. 2006. Con los pies en el suelo: incluyendo la estructura espacial de los datos en los análisis multivariantes. *Ecosistemas* 15(3):59-67. [En línea] (Consultada el 27 de septiembre de 2009) <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/441.pdf>
- López R., E. 1981. Paleogeografía y tectónica del mesozoico en México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*. UNAM. 5(2): 158-177.
- Lugo H., H. 1990. El relieve de la República Mexicana. *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, vol.9 (1):82-111.
- Luna V., I. 2008. Aplicaciones de la biogeografía histórica a la distribución de las plantas mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79: 217-241.
- Mandujano, M.C.; J. Goluvob y J. Reyes. 2002. Lo que usted siempre quiso saber sobre las cactáceas y nunca se atrevió a preguntar. CONABIO. *Biodiversitas*. 6 4-7.
- Martínez A., J.G. y E. Jurado. 2005. Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas, México. *Biodiversity and Conservation*. 14: 2483-2506.

- Martini, M. 2009. Estratigrafía, deformación y magmatismo de la región comprendida entre Huetamo y Zihuatanejo (Michoacán, Guerrero): Implicaciones para la evolución tectónica del Sur de México durante el Cretácico y el Terciario temprano. Tesis Doctoral. Posgrado en Ciencias de la Tierra. UNAM. México 20 Octubre, 256 p.
- Méndez L., J.; F. Ortiz y J.L. Villaseñor. 2004. Las Magnoliophyta endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Anales del Instituto de Biología, serie Botánica. UNAM. 75(1):87-104.
- Mauseth, J.D. 2005. Anatomical features, other than wood, in subfamily Opuntioideae (Cactaceae). *Haseltonia*. 11:113-125.
- Mora O., A.; J.L. Villaseñor; I. Luna V. y J.J. Morrone. 2008. Patrones de distribución de la flora vascular acuática estricta en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79:435-448
- Mondragón J., S y C. Pérez G. (editores). 2003. El nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Rome, Italia.183 p.
- Moreira M., A. 1996. Los sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ciencia y Ambiente*. 12:80-86.
- Morrone, J.J. 2000. La importancia de los atlas biogeográficos para la conservación de la biodiversidad, Vol.1:69-78. En *Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica, PriBES 2000*. Martín-Piera F., Morrone J.J., y Melic A. (Editores.) Monografías Tercer Milenio,SEA. Zaragoza, España.
- Morrone, J.J. y J. Llorente B. Ed.(s). 2003. Una perspectiva Latinoamericana de la biogeografía. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias; UNAM. 315 p.
- Mourelle, C. y E. Ezcurra. 1996. Species richness of Argentine cacti: A test of biogeographic hypotheses. *Journal of Vegetation Science* 7:667-680.
- Nieto S., Á.F.; S.A. Alanís A y C.A. Camprubí. 2005. La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 42:285-318.

- Nogués B, D. 2003. El estudio de la distribución espacial de la biodiversidad: conceptos y métodos. Cuadernos de Investigación Geográfica. 29: 67-82.
- Nyffeler, R. 2002. Phylogenetic relationships in the cactus family (cactaceae) based on evidence from TRNK/MATK and TRNL-TRNF sequences. American Journal of Botany. 89:312-326.
- Ortega H., M.A. y T. Peterson. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. Revista Mexicana de Biodiversidad. 79:205-216.
- Padilla S., R. J. 2007. Evolución geológica del sureste mexicano desde el mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 59: 19-42.
- Peña V., C.B.; M. Luna C.; J.A. Carranza S.; J.A. Reyes A. y A. Flores. 2008. Morphological characterization of *Opuntia* spp.: A multivariate analysis. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 10: 1-10
- Pianka, E. R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: A review of concepts. The American Naturalist. Chicago. Journals. January-February. Vol. 100(910):33-45
- Puente M., R. 1995. Distribución ecológica del género *Opuntia* en la zona árida de San Luis Potosí. Acta Científica Potosina. 13: 55-64.
- Puente M., R. 1992. El género *Opuntia* (Cactaceae) en el Valle de San Luis Potosí. Tesis profesional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. 145 p.
- Ramamoorthy, T.P.; R. Bye; A. Lot y J. Fa. (Editores) 1998. Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM. México. 792 p.
- Ramos V., I.; S. Guerrero V. y F.M. Huerta M. 2007. Patrones de distribución geográfica de los mamíferos de Jalisco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 78:175-189.
- Real, R.; J. Olivero; J.C. Guerrero; J.M. Vargas y A. L. Márquez. 1999. Contrastación de hipótesis explicativas de la distribución de la diversidad

- específica de arañas (Arachnida, Araneae) en las Islas Canarias. Boletín S.E.A., Sección IV: Biogeografía, evolución en el espacio. 26:573-581
- Rebman J.P.; y D.J. Pinkava. 2001. *Opuntia* cacti of North America-An Overview. The Florida Entomologist. 84:474-483.
- Reyes A., J.A.; J.R. Aguirre-Rivera; F. Carlín C. y A. González D. 2009. Catálogo de las principales variantes silvestres y cultivadas de *Opuntia* en la Altiplanicie Meridional de México. AUSLP, SAGARPA y CONACYT. San Luis Potosí, S.L.P. México. 350 p.
- Reyes A., J.A.; F. Carlín C.; J.R. Aguirre R. y M.H. Hernández M. 2007. Preparation of *Opuntia* herbarium specimens. Haseltonia. 13:76-82.
- Reyes A., J.A. y J.R. Aguirre R. 2006. Geographical distribution of *Opuntia* in Mexico. Proceedings of the 2006 International Cactus Pear Conference. University of the Free State, Bloemfontein, South Africa. p.18.
- Reyes A., J.A.; J.R. Aguirre R. y A. Valiente B. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: a review. Journal of Arid Environments. 64:549–585.
- Reyes A., J.A.; J.R. Aguirre R. y H.M. Hernández. 2005a. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Agrociencia. 39:395-408.
- Reyes A., J.A.; J.R. Aguirre R. y J.L. Flores F. 2005b. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) en relación con su domesticación en la Altiplanicie Meridional de México. Interciencia. 30: 476-484.
- Reyes A., J.A.; y J.R. Aguirre R. 1999. Fitogeografía de la Sierra de Monte Grande, Charcas, San Luis Potosí, México. Caldasia. 21: 50-69.
- Robbins, C.S. (editor). 2003. Prickly Trade: Trade and Conservation of Chihuahuan Desert Cacti. Part II: Chihuahuan Desert Cacti in Mexico by Rolando Tenoch Bárcenas Luna. TRAFFIC North America. Washington D.C.: World Wildlife Fund. 65 p.
- Rodríguez, P. y H.T. Arita W. 2005. La diversidad beta como un elemento integrador de distintos patrones macroecológicos. Cap. 3: 41-52. En Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma.

- Halffter, G.; Soberón, J. ; Koleff, P.; y Melic, A. (Eds.) Vol. 4 Monografías Tercer Milenio SEA, CONABIO, Grupo Diversitas-México y CONACYT. Zaragoza.
- Rodríguez, P.; J. Soberón y H.T. Arita. 2003. El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie). 89:241-259.
- Rojas A., M.; y S. Arias. 2007. Avances y perspectivas en la investigación biológica de la familia Cactaceae en México. *Boletín de la Soc. Latinoamericana de Cactáceas y Suculentas*. Vol 4(1):1-10.
- Rzedowski, J. 1991. El endemismo de la flora fanerogámica mexicana: Una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana*. 15:47-64.
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Ciencias*. Noviembre. No. Especial 6:47-56.
- Rzedowski, J. 2006 Relaciones geográficas y posibles orígenes de la flora. En *La vegetación de México*. CONABIO. Primera edición digital [En línea] (Consultado el 5 enero de 2009).
[http://www.conabio.gob.mx/institucion/centrodoc/doctos/librosdigitales/Vegetacion de México/Capitulo5.pdf](http://www.conabio.gob.mx/institucion/centrodoc/doctos/librosdigitales/Vegetacion%20de%20México/Capitulo5.pdf)
- Rzedowski J. y G. Calderón de R. 2007. La botánica mexicana en la década de los cincuentas, en: Faustino Miranda: Una vida dedicada a la botánica. Dosil Mancilla, F.J. (Coord.). Libro libre. CIE, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo [En línea] (fecha de consulta el 15 de agosto de 2010).
Disponible en: http://148.216.10.84/faustino_miranda.htm
- Sáenz, C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación. Roma, Italia. 162 p.
- Salinas P., J.C.; J. Montiel E.; E. Sánchez-Rojas; C. Díaz-Salgado; A. De la Calleja; D. Barajas N.; E. Dorante S.; A. Jiménez G. y N. Amezcua T. 2007. (Servicio Geológico Mexicano Servicio Geológico Mexicano). *Carta Geológica de México*. Escala 1:2, 000,000, 6a Edición [En línea] (Consultado el 6 de febrero de 2009).
http://portaljsp.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/republica/geologia/Texto_explicativo.pdf

- Santamaría D., A.; S.A. Alanís A. y A. F. Nieto S. 2003. Deformaciones cenozoicas en la cobertura de la falla Caltepec en la región de Tamazulapam, sur de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 25: 494-516.
- Scheinvar, L. ; G. Olalde P.; A. Gaytán V.; S.D. Olvera; M. Mena M.; L. Silva M.; E. Matías H.; V. Sánchez C.; M. Linaje; F. Kerstupp; C. Gallegos V. 2009. Representación conocida de nopales silvestres mexicanos en áreas naturales protegidas. Propuesta de conservación. VII Congreso Nacional Sobre Áreas Naturales Protegidas de México. San Luis Potosí, San Luis Potosí. México.
- Schumann K. 1899. *Gesamtbeschreibung der Kakteen*. Neudamm.
- Shupe, S.M. 2005. Multivariate characterization of Sonoran Desert vegetation in southwest Arizona using US Army field data. *Plant Ecology*. 176(2):215-235.
- Simonian, L. 1999. La defensa de la tierra del jaguar. Una historia de la conservación en México. CONABIO, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México. 348 p.
- Soberón, J.; G. Halffter y J. Llorente B. Comp. (s). 2008. Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México, D.F. 620 p.
- Victoria H., A. 2002. Tipos de vegetación de México, sistemas de clasificación. (Informe) Taller de capacitación, Junio. Departamento de Uso del Suelo. INEGI.
- Villarreal H.; M. Álvarez; S. Córdoba; F. Escobar; G. Fagua; F. Gast; H. Mendoza, M. Ospina y A.M. Umaña. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. 2ª edición. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.
- WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. 2ª edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 128 p.
- Willig, M.R.; D.M. Kaufman y R.D. Stevens. 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: Pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution & Systematics*. 34:273-309

- Wulff, E.V. 1943. An introduction to historical plant geography. Chronica Botanica Company, Waltham Mass. USA, 226 p.
- Zunino, M. 2000. El concepto de área de distribución: algunas reflexiones teóricas *En Hacia un Proyecto CYTED para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica: PriBES-2000*. Martín-Piera, F., Morrone, J.J. y Melic, A. (Editores.) Monografías Tercer Milenio SEA, Zaragoza, España. Vol. 1:79-85.

Anexo I. proyectos CONABIO, de los cuales se utilizaron datos para *Opuntia*.

Ing. Francisco Santana Michel. 1998. Flora de la Reserva de la biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, México. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. **CONABIO: A 7**. México, D.F.

M en C. José de Jesús Balleza Cadengo. 2005. Base de datos del Herbario de la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Herbario UAZ. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Zacatecas. **CONABIO: AC 1**. México, D.F.

Dr. José Luis Panero. 2003. Catálogo electrónico de especímenes depositados en el Herbario de la Universidad de Texas en Austin, Fase IV. Herbarium the University of Texas. **CONABIO: AE 13**. México, D.F.

M en C. Rito Vega Aviña. 1997. Flora del municipio de Culiacán, Sinaloa. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. **CONABIO: B 22**. México, D.F.

M en C. Jesús Sánchez Escalante. 1997. Modernización del Herbario de la Universidad de Sonora. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad de Sonora. **CONABIO: B 47**. México, D.F.

Dr. Oscar Roberto Dorado Ramírez. 1997. Inventario florístico de la Sierra de Huautla, Morelos. Centro de Educación Ambiental e Investigación Sierra de Huautla. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. **CONABIO: B 54**. México, D.F.

M en C. Nelly Diego Pérez. 1997. Lista florística de la Costa Grande del estado de Guerrero. Laboratorio de Plantas Vasculares. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: B 123**. México, D. F.

Dr. Andrew Peter Vovides Papalouka. 1997. Actualización de las bases de datos de colecciones, especies en peligro de extinción, colecta y propagación de germoplasma. Departamento de Sistemática Vegetal. Instituto de Ecología AC. **CONABIO: B 140**. México, D.F.

Ing. César Chávez Rendón. 2006. Actualización e incremento del banco de datos de la colección de herbario del Jardín Etnobotánico de Oaxaca. Jardín Etnobotánico de Oaxaca. Centro Cultural Santo Domingo. **CONABIO: BC 3**. México, D.F.

Dr. Miguel Ángel Pérez Farrera. 2006. Sistematización de la colección científica de flora del herbario Eizi Matuda, de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Herbario Eizi Matuda. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. **CONABIO: BC 6**. México, D.F.

Dr. José Luis Villaseñor Ríos. 2006. La familia Asteraceae en México, fase IV. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: BE 7**. México, D.F.

Dra. Patricia Dávila Aranda. 2006. Conservación del germoplasma vegetal en las Regiones áridas y Semiáridas de México. Laboratorio de Recursos

Naturales. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: BE 18**. México, D.F.

M en C. Silvia H. Salas Morales. 2007. Composición florística del Parque Nacional Huatulco. Sociedad para el Estudio de los Recursos Bióticos de Oaxaca AC. **CONABIO: BK 4**. México, D.F.

Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa. 2007 Flora acuática vascular y de zonas inundables del área de protección de flora y fauna Laguna de Términos, Campeche, México. Laboratorio de Hidrobotánica. Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. **CONABIO: BK 31**. México, D.F.

Dr. Andrés Eduardo Estrada Castellón. 2007. Flora del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, Nuevo León, México. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. **BK 36**. México, D.F.

Información de especies del género *Opuntia* como parte del proyecto *Cactoblastis cactorum*. 2001. Donación Herbarium CAS, Botany Department. California Academy of Sciences, Golden Gate Park **CONABIO: CAS**. México, D.F.

Datos de especímenes del género *Opuntia* en México del Herbario ENCB. 20001. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. **CONABIO: ENCB**. México, D.F.

Colección particular Hinton. 2004. Herbarium of Geo. B. Hinton. **CONABIO-HINTON. México, D.F.**

Biól. Miguel Ángel Barrios Rodríguez. 1998. Estudio florístico de la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México. Estudio florístico de la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México. Departamento de Botánica. Instituto Politécnico Nacional. **CONABIO: G 14**. México, D.F.

Dr. Hugo Riemann González. 1999. Riqueza y distribución de especies vegetales en la Península de Baja California. Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte AC. **CONABIO: H 16**. México, D.F.

Dra. Martha González Elizondo. 1999. Florística de áreas protegidas en el estado de Durango. Departamento de Botánica. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Durango- IPN. **CONABIO: H 100**. México, D.F.

Dr. José Alberto Búrquez Montijo. 1999. Diversidad vegetal en un gradiente en la Sierra Madre Occidental: flora y vegetación de la Región de San Javier y Yécora, Sonora. Departamento de Ecología Funcional. Estación Regional Noroeste. Instituto de Ecología. **CONABIO: H 122**. México, D.F.

Dr. José Delgadillo Rodríguez. 1999. Base de datos de la familia Cactaceae de la Península de Baja California, México. Herbario BCMEX. Universidad Autónoma de Baja California. **CONABIO: J 20**. México, D.F.

Dr. Rafael Fernández Nava. 1999. Computarización del Herbario ENCB. Fase I (Base de datos de los ejemplares del Valle de México). Laboratorio de

Botánica Fanerogámica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. **CONABIO: J 114**. México, D.F.

Dr. Francisco Lorea Hernández. 2000. Actualización de las bases de datos del Herbario del Instituto de Ecología, AC (XAL). Herbario XAL. Instituto de Ecología AC. **CONABIO: K 4**. México, D.F.

Programa de Repatriación Conacyt-Conabio. 2001. Base de datos SNIB-REMIB-CONABIO. Londres, Inglaterra. Royal Botanic Gardens, Kew. **Responsable del proyecto CONABIO: K_rep**. México, D.F.

M en C. Maricela Gómez Sánchez. 1997. Flora vascular del cerro El Zamorano. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. **CONABIO: L 2**. México, D.F.

Dra. Mahinda Martínez y Díaz Salas. 2000. Flora y vegetación de la Sierra de San Carlos en el municipio de San Nicolás, Tamaulipas. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. **CONABIO: L 29**. México, D.F.

M en C. Rito Vega Aviña. 2000. Catálogo y base de datos preliminar de la flora de Sinaloa. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. **CONABIO: L 57**. México, D.F.

Dr. Gonzalo Castillo Campos. 2000. Diversidad y riqueza vegetal de los substratos rocosos del centro del estado de Veracruz. Departamento de Ecología Vegetal. Instituto de Ecología AC. **CONABIO: L 228**. México, D.F.

Dra. Beatriz Rendón Aguilar. 1999. Flora útil del Municipio de la Huerta, Jalisco. Laboratorio de Genética Ecología y Evolución. Instituto de Ecología. **CONABIO: L 255**. México, D.F.

Datos de especímenes del género *Opuntia* en México, E.U.A. y Centroamérica del Herbario MEXU. 2001. Herbario Nacional de México. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: MEXU**. México, D.F.

Dra. María del Socorro González Elizondo. 1998. Base de datos sobre la flora de Durango. . Departamento de Botánica. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Durango- IPN. **CONABIO: P 5**. México, D.F.

M en C. Francisco González Medrano. 1998. Lista florística preliminar de Tamaulipas. Departamento de Botánica. Instituto de Biología. **CONABIO: P 92**. México, D.F.

M en C. José Guadalupe Martínez Ávalos. 1998. Inventario florístico de las Cactáceas del estado de Tamaulipas. Instituto de Ecología Aplicada. Universidad Autónoma de Tamaulipas. **CONABIO: P 120**. México, D.F.

Dr. José Luis León de la Luz. 1998. Inventario florístico en Baja California Sur: Región del Cabo e Islas adyacentes. División de Biología Terrestre. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC. **CONABIO: P 127**. México, D. F.

Biól. Marcela Verónica Gutiérrez Garduño. 1999. Sistematización del Herbario Nacional Forestal Biól Luciano Vela. Herbario Nacional Forestal "Biól Luciano Vela Gálvez". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. **CONABIO: P 140**. México, D.F.

Dr. Rafael Durán García. 1998. Base de datos del Herbario del Centro de Investigación Científica de Yucatán. Unidad de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán AC. **CONABIO: P 143**. México, D.F.

Lic. Comp. Lamberto Aragón Axomulco. 2001. Etapa final de la captura y catalogación del Herbario del Instituto de Ecología, AC, Centro Regional del Bajío. División de Vegetación y Flora. Instituto de Ecología AC. **CONABIO: Q 17**. México, D.F.

Dr. Rodolfo de la Torre Almaráz. 2001. Inventario fitopatológico de las especies vegetales dominantes en la región de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: R 13**. México, D.F.

M en C. Toutcha Lebgue Keleng. 2001. Flora de las Barrancas del Cobre. Departamento de Recursos Naturales y Ecología. División de Posgrado e Investigación. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. **CONABIO: R 102**. México, D.F.

Dr. Rebman Jon P. 2001. Información de especies del género *Opuntia* como parte del proyecto *Cactoblastis cactorum*. Datos de especímenes del género *Opuntia* en México y E.U.A. del Herbario SD. San Diego Natural History Museum. California, E.U.A. **CONABIO: SD**. México, D.F.

Dr. Rafael Fernández Nava. 2002. Computarización del Herbario ENCB. Fase II. Base de datos de los ejemplares de la familia Burseraceae y Nyctaginaceae y base de datos digitalizada de los ejemplares tipo de plantas vasculares del Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. Laboratorio de Botánica Fanerogámica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. **CONABIO: T 2**. México, D.F.

Dra. Patricia Dávila Aranda. 2002. La flora útil de dos comunidades indígenas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Coxcatlán y Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Laboratorio de Recursos Naturales. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: T 15**. México, D.F.

Dr. José Luis Villaseñor Ríos. 2002. Actualización de las bases de datos de los proyectos M056, P089 y Q069 y la familia Asteraceae en México Fase II. Tribus Tageteae. Departamento de Botánica. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: U 4**. México, D.F.

M en C. Jaime Jiménez Ramírez. 2003. Fusión y actualización de las bases de datos del Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME), Guerrero. Herbario FCME. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: U 8**. México, D.F.

Dr. Robert Bye Boettle. 2004. Plantas vasculares de la Sierra Tarahumara - listado florístico, Etnobotánico e histórico. Jardín Botánico. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. **CONABIO: X 6**. México, D.F.