

El género *Mammillaria* en Oaxaca: Relación entre filogenia y la distribución geográfica

Flores Martínez Alejandro^{1,2*}, Manzanero Medina Gladys Isabel^{1,2*}

Resumen

Se analiza la diversidad de especies del género *Mammillaria* en México para determinar el nivel en que se encuentra el estado de Oaxaca en cuanto a riqueza, endemismos y especies protegidas. Se determinó la posible relación filogenética a nivel de series taxonómicas de las especies presentes en el estado de Oaxaca en relación con tres zonas geográficas de la entidad. Oaxaca es el quinto estado en riqueza de especies del género *Mammillaria* en México, el tercero en especies protegidas, pero tiene el mayor número de especies endémicas. Todas las especies de las series Longiflorae, Polyedrae, Supertextae y Sphacelatae están en Oaxaca, y con excepción de la serie Longiflorae que es exclusiva de Oaxaca, las especies de las otras series también se encuentran en otras entidades. Si bien las zonas de establecimiento de cada especie forman grupos característicos de las regiones de la cañada y de la mixteca, no es clara la relación con sus series taxonómicas.

Palabras clave: Endemismo, especies amenazadas, filogenia, *Mammillaria*, Oaxaca, riqueza de especies.

Abstract

This paper analyses Mexican *Mammillaria* species diversity to determine the Oaxaca state level in species richness, endemism and endangerment. Relationships between phylogenetic series level and geographical distribution were examined. Oaxaca is the fifth species richness state, the third endangerment species richness state, and the first endemic species richness state. All species of Longiflorae, Polyedrae, Supertextae and Sphacelatae series are in Oaxaca, with Longiflorae species established only in this state. There isn't a clear relationship between phylogenetic series and the species geographical distribution.

Key words: Endemic species, endangered species, phylogeny, *Mammillaria*, Oaxaca, species richness.

Introducción

Cactaceae es una de las familias bien representadas en México, tanto por su elevado número a nivel genérico (± 54) como de

especies (> 850). México se considera un centro de diversidad mundial de la familia Cactaceae, con cerca del 37% del total de los taxa (Bravo 1978; Arias 1997; Bravo y Sánchez-Mejorada 1991; Guzmán 1997). El

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR IPN Oaxaca). Hornos 1003. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71230.

² Becarios COFAA, IPN.

* Autor de correspondencia: alexfmtz62@gmail.com; gmanzane@ipn.mx

Salvador Arias

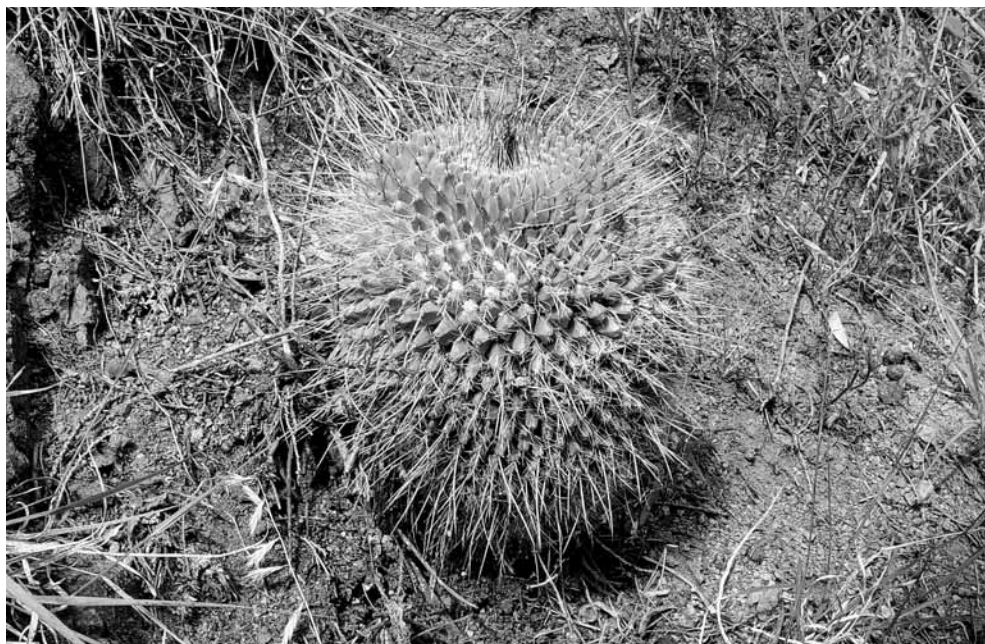


FOTO 1. *Mammillaria dioxanthocentron*.

Salvador Arias



FOTO 2. *Mammillaria beneckeii*.

FOTO 3. *Mammillaria polyedra*.

84% de las especies de cactáceas presentes en México son endémicas (Arias 1993), lo cual ubica al país como el de mayor número de cactáceas endémicas a nivel mundial (Arias 1993). Cerca de 200 especies están incluidas en la lista de especies protegidas por la ley mexicana (Semarnat 2002), todos los taxa de la familia están incluidos en el Apéndice II del CITES (Hunt 1999), y muchas de sus especies pertenecen a la categoría de especies raras (Rabinowitz *et al.* 1986; Rodrigues *et al.* 2006).

Godínez-Álvarez y Ortega-Baes (2007) analizan patrones de diversidad y niveles de endemismo de las cactáceas en México en base a su distribución geográfica (nivel político de estados del país), su relación con la superficie de los mismos y algunos aspectos climáticos. Sin embargo, no se han publicado estudios de la distribución geográfica de cactáceas en el país y su posible relación con la filogenia. Sin duda *Mammillaria* es

un género adecuado para observar si existe esta relación, ya que el género *Mammillaria* tiene 306 especies (Villaseñor 2004). En México se encuentra su principal centro de diversificación, con un alto porcentaje de endemismo, Guzmán *et al.* (2003) reportan 26 especies para el estado de Oaxaca, nueve de ellas endémicas a la entidad, e incluso algunos estudios ya proponen la relación existente a nivel de serie taxonómica del género *Mammillaria* con ciertos ambientes (Martorell 2006; Flores-Martínez 2008). El estado de Oaxaca se distingue a nivel nacional por tener el mayor número de especies de plantas vasculares, posee todos los tipos de vegetación del país de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (1978), y por formar parte de la zona geográfica de unión entre las floras neártica y neotropical. El género *Mammillaria* se distribuye en Estados Unidos, México, Guatemala, Honduras, Colombia, Venezuela y las Antillas. En el

tratamiento taxonómico de este género se le subdivide en secciones y series en las que se agrupan las diferentes especies (Arias *et al.* 1997).

El género *Mammillaria* Haw., incluye plantas simples o cespitosas, que ramifican por brotes basales, laterales o dicotómicos. Raíces fibrosas o tuberosas. Tallos tuberculados, numerosos o no, globosos, deprimido-globosos, cilíndricos, erectos, a veces rastreros o péndulos; tubérculos en series espiraladas, cilíndricos, cónicos, piramidales o gibosos, sin surco longitudinal; en ocasiones con lactíferos; aréolas bipartidas, las apicales producen espinas y lana, las axilares producen flores; espinas escasas a numerosas, frecuentemente diferenciadas en radiales y centrales, espinas radiales delgadas, numerosas; las centrales, cuando presentes, en menor número y más gruesas. Flores solitarias, emergen alrededor de un círculo apical, campanuladas a infundibuliformes, diurnas; pericarpelo y tubo receptacular desnudos; tubo receptacular menor o de igual tamaño que el perianto; perianto con tépalos escasos, angostos, extendidos, blancos, amarillos, rojos, rosas o púrpuras. Frutos claviformes a globosos, rojos o verdes, indehiscentes, carnosos a semisecos, desnudos; semillas subglobosas, piriformes, reniformes o de cúpula oblicua, pardo claras a oscuras o negras; testa lisa o foveolada, microrelieve ausente o presente, paredes celulares rectas o sinuosas, intersticios indiferenciados (Arias *et al.* 1997).

En el presente documento analizamos los patrones de diversidad de especies del género *Mammillaria* en el país, sus principales centros de endemismo, y en relación con las especies presentes en el estado de Oaxaca, su posible relación filogenética a nivel de series taxonómicas con tres zonas:

a) la región de la Cañada (vertiente del Golfo de México), b) la Mixteca y cuenca del Balsas (vertiente del Pacífico), y "otras", que incluye la Sierra Norte y el Istmo de Tehuantepec. Para esta división de zonas se consideraron tanto las barreras geográficas (por su posible relación filogenética) como la mayor diversidad de especies de este género a nivel geográfico.

Material y métodos

El patrón de distribución de las especies del género *Mammillaria* en el país se elaboró por medio de una matriz de presencia-ausencia que determina la riqueza de especies por entidad, el número de especies endémicas a cada estado, el número de especies protegidas en cada uno de ellos, y los porcentajes de cada categoría a nivel nacional. El *Catálogo de Cactáceas Mexicanas* (Guzmán *et al.* 2003), que actualmente es la mejor y más completa revisión de cactáceas de México publicada, tanto a nivel taxonómico como de distribución geográfica, fue la fuente para elaborar este patrón de distribución. En el caso de que el nombre científico válido de una especie no estuviese en la categoría de especie protegida, pero alguna de sus sinonimias sí, se consideró válido sólo cuando su distribución se limitara a un estado.

La distribución de las especies en cada una de las tres zonas propuestas del estado de Oaxaca se hizo con base en los registros taxonómicos y textos mencionados por Bravo (1978), Bravo & Sánchez-Mejorada (1991) y Arias *et al.* (1997). Sin duda algunas especies pueden tener una distribución mayor, pero la misma puede estar aún no publicada o en su caso aún no verificada por los taxónomos especialistas de esta familia botánica; sin embargo, es poco factible que cambie en gran medida los resultados obtenidos. La relación filogenética de las especie a nivel de Serie

Salvador Arias



FOTO 4. *Mammillaria haageana*.



Salvador Arias

FOTO 5. *Mammillaria mystax*.

Salvador Arias



FOTO 6. *Mammillaria karwinskiana* subsp. *collinsii*.

Salvador Arias

FOTO 7. *Mammillaria solisioides*.

Salvador Arias

FOTO 8. *Mammillaria duoformis*.

taxonómica se efectuó con base en lo reportado por Butterworth y Wallace (2004). En caso de que una especie no estuviese considerada en esta revisión, se utilizó lo reportado por Bravo & Sánchez-Mejorada (1991) y por Arias *et al.* (1997). Las clasificaciones numéricas (dendrograma) se efectuaron con el paquete estadístico SAS (2005).

Resultados

San Luis Potosí es el estado que tiene mayor riqueza de especies del género *Mammillaria* en México (31 especies), seguido de Querétaro, Guanajuato y Zacatecas (28 especies cada uno), y de Oaxaca y Durango (26 especies cada uno) (Cuadro 1). Oaxaca es el estado que tiene el mayor número de especies endémicas (9 especies), seguido de Baja California Sur (8 especies), Sonora (6 especies), Guanajuato, Puebla y Tamaulipas (5 especies cada uno). Es interesante la relación jerárquica entre los estados al formarse tres grandes grupos (Fig. 1): el primer grupo con un número mayor o igual a 19 especies (desde San Luis Potosí hasta Jalisco) y con el mayor número de especies protegidas, el segundo grupo con un intervalo de 14 a 10 especies (de Chihuahua a Baja California Sur), y el tercer grupo con un número menor o igual a 7 especies. Cabe destacar la formación dentro del primer grupo de un subgrupo con los estados que tienen elevado número de especies endémicas (Oaxaca, Puebla, Tamaulipas y Sonora), y el aislamiento dentro del segundo grupo de Baja California Sur, que tiene el mayor número de especies endémicas del mismo y con el mayor porcentaje a nivel nacional.

El análisis filogenético de las especies (de acuerdo a lo reportado por Butterworth & Wallace 2004) relacionado con la distribución geográfica a nivel nacional

CUADRO 1. Número de especies del género *Mammillaria* presentes en cada entidad federativa de México. El porcentaje de especies endémicas y de especies protegidas se calculó con base al número total de especies de cada estado.

Estado	No. Especies	Total especies (%)	Especies endémicas (%)	Especies protegidas	Especies protegidas (%)
San Luis Potosí	31	17.92	9.68	13	41.94
Querétaro	28	16.18	14.29	8	28.57
Guanajuato	28	16.18	17.86	13	46.43
Zacatecas	28	16.18	3.57	10	35.71
Oaxaca	26	15.03	34.62	12	46.15
Durango	26	15.03	7.69	12	46.15
Coahuila	25	14.45	16.00	8	32.00
Puebla	22	12.72	22.73	10	45.45
Tamaulipas	22	12.72	22.73	11	50.00
Sonora	22	12.72	27.27	9	40.91
Hidalgo	20	11.56	10.00	5	25.00
Jalisco	20	11.56	0.00	7	35.00
Nuevo León	19	10.98	10.53	8	42.11
Chihuahua	14	8.09	0.00	5	35.71
Baja California Sur	14	8.09	57.14	6	42.86
Aguascalientes	13	7.51	0.00	4	30.77
Michoacán	12	6.94	0.00	3	25.00
Guerrero	12	6.94	8.33	5	41.67
Sinaloa	12	6.94	0.00	4	33.33
México	11	6.36	0.00	5	45.45
Baja California	10	5.78	20.00	4	40.00
Veracruz	10	5.78	20.00	0	0.00
Morelos	7	4.05	14.29	1	14.29
Tlaxcala	5	2.89	0.00	0	0.00
Nayarit	5	2.89	0.00	3	60.00
Distrito Federal	5	2.89	0.00	1	20.00
Colima	4	2.31	0.00	0	0.00
Chiapas	3	1.73	0.00	0	0.00
Yucatán	2	1.16	0.00	1	50.00
Quintana Roo	1	0.58	0.00	1	100.00
Campeche	0	0.00	0.00	0	0.00
Tabasco	0	0.00	0.00	0	0.00

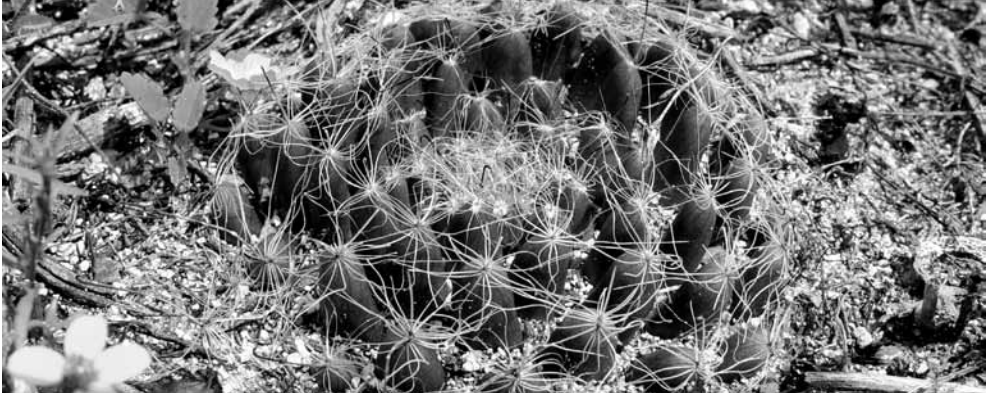
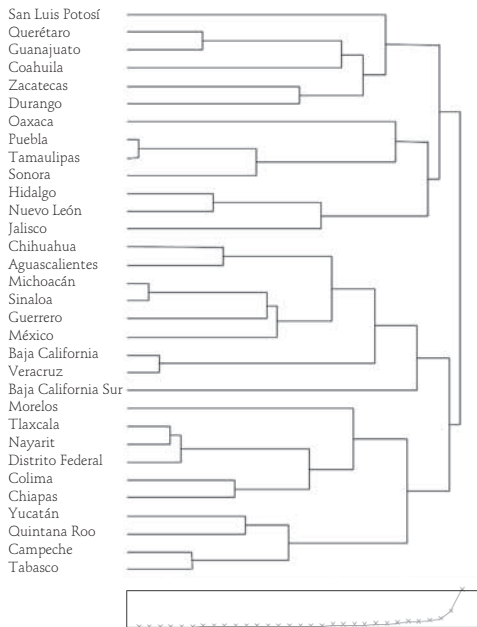
FOTO 9. *Mammillaria zephyranthoides*.

FIGURA 1. Clasificación numérica con base al número de especies, número de especies endémicas y número de especies protegidas de cada entidad federativa de México.

nos muestra que todas las especies de las series Longiflorae, Polyedrae, Supertextae y Sphacelatae están en Oaxaca, aunque algunas especies compartidas con otros estados, excepto la serie Longiflorae que es exclusiva de Oaxaca. Un solo clado (clado

F, “strict consensus trees”) incluye el 57.7% del total de las especies de Oaxaca, y un solo clado (clado Z, “majority-rule consensus trees”) incluye el 53.8% del total de especies de Oaxaca. La distribución geográfica de las especies en el estado de Oaxaca (Cuadro 2, Fig. 2) nos muestra en la clasificación numérica la formación de cuatro grupos: a) el primer grupo con especies localizadas sólo en la mixteca, desde *M. duoformis* hasta *M. zephyranthoides*, b) el segundo grupo con especies que se encuentran sólo en la cañada, desde *M. huitzilopochtli* hasta *M. superexta*, c) el tercer grupo que se encuentra sólo en las “otras zonas” (no mixteca ni cañada), desde *M. albilanata* hasta *M. reko*, y d) el cuarto grupo que incluye a las especies que se encuentran en más de una de las tres zonas geográficas. La única serie que se encuentra sólo en una zona geográfica es Stylothelae, en la región de la mixteca (con tres especies, dos de ellas endémicas), aunque la mayor parte de las especies de las series Supertextae, Sphacelatae y Polyedrae se encuentran sólo en las regiones de la cañada y la mixteca. La única serie integrada exclusivamente por especies endémicas a Oaxaca es Longiflorae, pero de diferentes zonas geográficas.

Discusión

Uno de los principales objetivos de este estudio fue analizar la importancia del estado de Oaxaca en el país en especies del género *Mammillaria* a varios niveles: el de riqueza de especies del género, el de especies endémicas a la entidad, el de posibles series taxonómicas exclusivas de Oaxaca y el de una posible relación con su distribución geográfica en diferentes regiones del estado. El análisis de la riqueza de especies nos indica que si bien Oaxaca no es el estado con mayor número de especies del género *Mammillaria*, sí es la entidad con el número más elevado de especies endémicas a su territorio. Un aspecto interesante es que los mayores endemismos no se encuentran en estados adyacentes, sino en tres grandes

Salvador Arias

FOTO 10. *Mammillaria tepexicensis*.

Salvador Arias

FOTO 11. *Mammillaria albilanata* subsp. *tegelbergiana*.

CUADRO 2. Relación filogenética (serie taxonómica) y distribución geográfica de cada especie del género *Mammillaria* presente en el estado de Oaxaca.
 B-W, 2004 = Butterworth & Wallace 2004; B-S 1991 = Bravo & Sánchez-Mejorada 1991; Arias 1997 = Arias *et al.* 1997. E = especie endémica (Fotos 1 a 11).

Especie	Serie	Mixteca	Cañada	Otras
<i>Mammillaria discolor</i>	Heterochlorae (B-S 1991)	1	1	0
<i>Mammillaria solisioides</i>	No definida	1	0	0
<i>Mammillaria deherdtiana</i> (E)	Longiflorae (B-S 1991)	0	0	1
<i>Mammillaria hernandezii</i> (E)	Longiflorae (B-W 2004)	1	0	0
<i>Mammillaria uncinata</i>	Macrothelae (B-S 1991)	1	1	1
<i>Mammillaria duoformis</i>	Polyacanthae (B-W 2004)	1	0	0
<i>Mammillaria rekoii</i> (E)	Polyacanthae (B-W 2004)	0	0	1
<i>Mammillaria carnea</i>	Polyedrae (B-W 2004)	1	1	0
<i>Mammillaria karwinskiana</i>	Polyedrae (B-W 2004)	0	1	0
<i>Mammillaria mystax</i>	Polyedrae (B-W 2004)	1	1	0
<i>Mammillaria polyedra</i>	Polyedrae (B-W 2004)	1	1	0
<i>Mammillaria voburnensis</i>	Polyedrae (B-W 2004)	0	0	1
<i>Mammillaria beneckeii</i>	Sphacelatae (B-W 2004)	0	0	1
<i>Mammillaria kraehenbuehli</i> (E)	Sphacelatae (B-S 1991)	1	0	0
<i>Mammillaria sphacelata</i>	Sphacelatae (B-W 2004)	1	1	0
<i>Mammillaria tonalensis</i> (E)	Sphacelatae (B-W 2004)	1	0	0
<i>Mammillaria oteroi</i> (E)	Stylothelae (B-W 2004)	1	0	0
<i>Mammillaria tepexicensis</i> (E)	Stylothelae (Arias 1997)	1	0	0
<i>Mammillaria zephyranthoides</i>	Stylothelae (B-W 2004)	1	0	0
<i>Mammillaria albilanata</i>	Supertextae (B-W 2004)	0	0	1
<i>Mammillaria crucigera</i>	Supertextae (B-S 1991)	1	1	0
<i>Mammillaria dixanthocentron</i>	Supertextae (B-W 2004)	1	1	0
<i>Mammillaria haageana</i>	Supertextae (B-W 2004)	1	1	1
<i>Mammillaria huitzilopochtli</i> (E)	Supertextae (B-W 2004)	0	1	0
<i>Mammillaria lanata</i>	Supertextae (B-S 1991)	0	1	0
<i>Mammillaria supertexta</i> (E)	Supertextae (B-W 2004)	0	1	0

zonas: una en Oaxaca y Puebla, otra en el norte del país (Sonora, Tamaulipas), y la otra en la península de Baja California (Baja California Sur), por lo que independientemente de la posible zona de origen del género, las diversificación de especies con sus migraciones y endemismos respectivos

tienen actualmente sus mayores valores en zonas muy distantes geográficamente en el país. Sin duda un posterior análisis del maestro Ulises Guzmán, especialista de éste género a nivel nacional, nos indique las causas de esta distribución. El listado de especies protegidas de especies del género

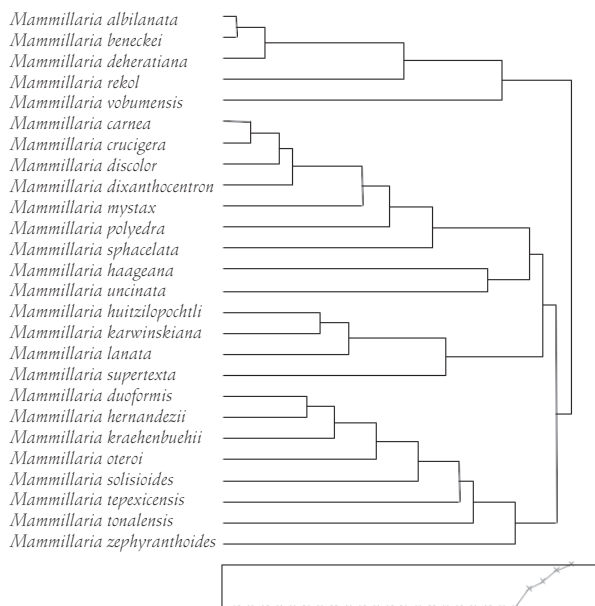


FIGURA 2. Clasificación numérica en base a la distribución geográfica de las especies de *Mammillaria* presentes en el estado de Oaxaca.

Mammillaria aún debe revisarse y actualizarse con sus respectivos estudios de riesgo (Semarnat 2002), ya que, por ejemplo, no hay una clara relación entre el número de especies endémicas y el de especies protegidas, y existen varios estados con elevado número de especies protegidas sin tener ninguna especie endémica.

El análisis filogenético de las especies no nos muestra una clara relación con la distribución geográfica. Si bien todas las especies de las series Longiflorae, Polyedrae, Supertextae y Sphacelatae están en Oaxaca (Butterworth & Wallace, 2004), cada una de estas series ha tomado distintas zonas de endemismos. En la serie Polyedrae no hay ninguna especie endémica a Oaxaca, aunque la mayor parte tienen su distribución geográfica en la mixteca y la cañada. En la serie Sphacelatae dos de las tres especies (que son endémicas) están sólo en la mixteca, y la otra en la mixteca y la cañada, por lo que parece haber una relación

de endemismos con esta región. En la serie Supertextae sus dos especies endémicas se restringen a la región de la cañada, aunque si bien las demás especies se distribuyen en las otras dos zonas de la entidad, predominan en la mixteca y la cañada. Cabe destacar que estas dos especies endémicas se establecen en ambientes saxícolas, sin ser claro si es por aspectos evolutivos o por la reducción de su área de establecimiento debido al disturbio humano (Martorell & Patiño 2006; Flores-Martínez 2008). La serie Longiflorae, que está formada exclusivamente por dos especies endémicas, las mismas no tienen ni la misma región de establecimiento ni áreas geográficas adyacentes. Cabe destacar que a nivel de endemismo, la serie Sphacelatae (mixteca) y la serie Supertextae (cañada) se encuentran en clados diferentes (Butterworth & Wallace 2004).

Todo parece indicar que, si Oaxaca no es el centro de origen del género, una vez que los ancestros de las especies que actual-

mente lo ocupan llegaron a su territorio, éstas han colonizado diversos ambientes y tomado diferentes caminos evolutivos. Sin duda una actualización de datos de los sitios de ocupación de las especies en Oaxaca y su posterior análisis nos aporte más herramientas de estas posibles rutas de colonización y especiación.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó gracias al apoyo financiero de la SIP-IPN, con el proyecto Clave 20100449. Un sincero agradecimiento a dos revisores anónimos por sus observaciones para mejorar el presente escrito.

Literatura citada

- Arias S. 1993. Cactáceas: conservación y diversidad en México. *Rev Soc Mex Hist Nat* **44**:109-115.
- Arias MS. 1997. Distribución, grupos taxonómicos y formas de vida, páginas 17-25. En *Suculentas mexicanas*. Cactáceas. Conabio. Semarnat. UNAM.
- Arias MS, Gama LS & Guzmán CLU. 1997. *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Cactaceae A. L. Juss.* Instituto de Biología, UNAM. 146 pp.
- Bravo-Hollis H. 1978. *Las cactáceas de México*. I. UNAM. México.
- Bravo-Hollis H & H Sánchez-Mejorada R. 1991. *Las Cactáceas de México*. Tomos II y III. UNAM. México.
- Butterworth ChA, Wallace RS. 2004. Phylogenetic studies of *Mammillaria* (Cactaceae) – Insights from chloroplast sequence variation and hypothesis testing using the parametric bootstrap. *Am J Bot* **91**:1086-1098.
- Flores-Martínez A. 2008. *Estudio poblacional de Mammillaria huizilopochtli D.R. Hunt en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca, México*. Tesis de doctorado. UAM Xochimilco. México.
- Godínez-Alvarez H, Valverde T & Ortega-Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Bot Rev* **69**:173-203.
- Guzmán CLU. 1997. Grupos taxonómicos, páginas 31-41. En *Suculentas mexicanas*. Cactáceas. Conabio. Semarnat. UNAM.
- Guzmán CLU, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. Conabio. UNAM. México.
- Hunt D. 1999. *CITES. Cactaceae checklist*. Royal Botanical Gardens & International Organization for Succulent Plant Study, Kew, England.
- Martorell C & Patiño P. 2006. Globose cacti (*Mammillaria*) living on cliffs avoid high temperatures in a hot dryland of Southern Mexico. *J Arid Environ* **67**:541-552.
- Rabinowitz D, Cairns S & Dillon T. 1986. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles, páginas 182-204. In: Soule ME (ed.). *Conservation Biology: The science of scarcity and diversity*. Sinauer, Associates Inc. Sunderland, Mass.
- Rodrigues ASL, Pilgrim JD, Lamoreux JF, Hoffmann M & Brooks TM. 2006. The value of the IUCN Red List for conservation. *TREE* **21**:71-76.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México.
- SAS Institute Inc. 2005. *JMP statistics and Graphics Guide*. Statistical Discovery. SAS Institute Inc.
- Semarnat. 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2004. Diario Oficial de la Federación*. 2a. sección. 06 marzo 2002.
- Villaseñor JL. 2004. Los géneros de las plantas vasculares de la flora mexicana. *Bol Soc Bot Méx* **75**:105-135.