

## Informe final\* del Proyecto JM068

### Distribución geográfica de algunas especies de los géneros *Coryphantha* (Engelm.) Lem. y *Mammillaria* Haw. (Cactaceae)

<b>Responsable:</b>	M en C. Balbina Vázquez Benítez
<b>Institución:</b>	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
<b>Dirección:</b>	Batalla 5 de Mayo s/n, Ejército de Oriente, Iztapalapa, Ciudad de México, 09230, México.
<b>Teléfono/Fax:</b>	56230768
<b>Fecha de inicio:</b>	Mayo 31, 2012.
<b>Fecha de término:</b>	Marzo 2, 2017.
<b>Principales resultados:</b>	Base de datos, cartografía, informe final, fotografías.
<b>Forma de citar** el informe final y otros resultados:</b>	Vázquez Benítez, B., Guzmán, U., Espinosa, D., Arias, G. y I. Guzmán. 2017. Distribución geográfica de algunas especies de los géneros <i>Coryphantha</i> (Engelm.) Lem. y <i>Mammillaria</i> Haw. (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. <b>Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. JM068</b> . Ciudad de México.

#### Resumen:

La familia Cactaceae presenta un alto endemismo en México. Los géneros *Coryphantha* y *Mammillaria* se encuentran entre los cuatro géneros con mayor riqueza de especies para México. Las especies de *Coryphantha* son endémicas a Megaméxico 1; todas sus especies (47) se distribuyen en territorio nacional y solo siete traspasan la frontera con EUA. *Mammillaria* contiene 182 especies, de las cuales 171 son endémicas al país. Las variaciones morfológicas intra-específicas de los dos géneros han dificultado la circunscripción taxonómica y ha establecido incertidumbre en la delimitación de su distribución geográfica. La mayoría de las especies de ambos géneros tienen una distribución restringida, se localizan en pequeñas áreas que las hace vulnerables al cambio de uso de suelo y a la sobre-colecta. De ahí que numerosas especies de estos géneros se encuentren listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Concretamente para el género *Mammillaria* se encuentran registradas más del 50% de especies en alguna categoría ecológica de conservación y para el género *Coryphantha* están listadas 38% de las especies.

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

# INFORME FINAL

---

**TÍTULO DEL PROYECTO:** JM068: “Distribución geográfica de algunas especies de los géneros *Coryphantha* (Engelm.) Lem. y *Mammillaria* Haw. (Cactaceae)”

## DATOS GENERALES

### Datos de la institución donde se llevó a cabo el proyecto

Nombre: Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM

Dirección: Batalla 5 de mayo s/n Esq. Fuerte de Loreto. Col. Ejército de Oriente

### Datos del responsable del proyecto

Nombre: M. en C. Balbina Vázquez Benítez

Puesto: Técnico Académico Asociado A de T.C.

Teléfono del trabajo: 56 23 07 68

**Corresponsable del proyecto:** Dr. David Nahum Espinosa Organista

**Participantes:** Biól. Leonardo Ulises Guzmán Cruz, M. en C. Genaro Montaña Arias, Dr. Isaías Hazamabeth Salgado Ugarte y Biól. Itzel Guzmán Vázquez

### Datos del técnico

Nombre: Biól. Leonardo Ulises Guzmán Cruz

Teléfono del trabajo: 56 23 07 68

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	4
<i>Calidad de Información</i> .....	4
<i>Limpieza de datos</i> .....	14
CRITERIO DE SELECCIÓN DE LA REGIÓN (M) POR ESPECIE.....	16
VARIABLES UTILIZADAS EN LA MODELACIÓN .....	25
MÉTODO DE MODELACIÓN .....	26
PARÁMETROS UTILIZADOS EN LA MODELACIÓN .....	27
EVALUACIÓN DEL MODELO .....	28
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS .....	32
Anexo 1. Documentación del material entregado	
Anexo 2. Calidad de información de <i>Coryphantha</i>	
Anexo 3. Calidad de información de <i>Mammillaria</i>	
Anexo 4. <i>Coryphantha</i> variables	
Anexo 5. <i>Mammillaria</i> variables	

## RESUMEN EJECUTIVO

La familia Cactaceae tiene el mayor número de taxones con alguna categoría de riesgo en la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2010 con 272 especies y subespecies. El 40 por ciento de las cactáceas listadas en esa norma mexicana corresponden a *Mammillaria*, que además es el género con el mayor número de especies dentro de la familia. *Coryphantha* es el cuarto género con mayor número de especies en el hemisferio norte de América. El objetivo general del proyecto fue modelar la distribución geográfica de especies con alguna categoría de riesgo de los géneros *Coryphantha* y *Mammillaria*. Entre los objetivos particulares se planteó caracterizar la distribución geográfica de especies de *Coryphantha* y *Mammillaria* listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, así como definir las cuencas hidrológicas de su ocurrencia para las especies de ambos géneros. Se modeló la distribución geográfica de 19 especies de *Coryphantha* y 30 especies de *Mammillaria*. La estimación de la

distribución geográfica se realizó mediante modelos de máxima entropía, empleando registros de presencia y 19 variables ambientales.

Se recabó un total de 2183 registros provenientes de distintas fuentes y 1679 localidades únicas. La mayoría de los ejemplares preservados incorporaron información geográfica precaria o ausente, toda vez que los recolectores o estudiosos de esta familia resguardan los datos geográficos para evitar sobrecolectas o saqueo de especímenes.

Los objetivos planteados se cubrieron totalmente. Para *Coryphantha* se modeló la distribución de siete especies que se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y *Coryphantha pycnacantha*, que es una especie considerada en peligro en la Lista Roja de la IUCN. Se realizó el modelado de 11 especies de *Mammillaria* que se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Todas las especies de ambos géneros se encuentran en el Apéndice II de la CITES.

En total se entregan 49 modelos de distribución para 49 especies de *Coryphantha* y *Mammillaria*.

## INTRODUCCIÓN

México alberga el mayor número de especies de cactáceas (Bravo, 1978) y más del 70 por ciento de ellas son endémicas a nuestro país (Rzedowski, 1991). De igual manera, la familia Cactaceae destaca porque presenta el mayor número de taxones con alguna categoría de riesgo en la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2010 con 272 especies y subespecies, que equivalen aproximadamente al 30 por ciento del total de taxones distribuidos en la nación. El 40 por ciento de las cactáceas listadas en esa norma mexicana corresponden a *Mammillaria* que además es el género con el mayor número de especies dentro de la familia. *Coryphantha* es el cuarto género con mayor número de especies en el hemisferio norte de América y el 33 por ciento de sus especies se encuentran con alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (NOM-059).

Aunque la distribución de *Coryphantha* y *Mammillaria* no se restringe al territorio nacional, es en México donde se originaron y diversificaron. La variación morfológica que presentan en general las especies de los dos géneros ha dificultado la delimitación taxonómica. Así, para *Coryphantha* se han publicado más de 300

descripciones o combinaciones, cuando se reconocen entre 50 a 65 taxones en los estudios más recientes (Zimmerman, 1985; Bravo-Hollis & Sánchez Mejorada, 1991; Dicht & Luthy, 2005). El género *Mammillaria* consta de aproximadamente 250 taxones y existen más de 2000 nombres publicados (Guzmán, com. pers.).

Ninguno de los taxones de *Coryphantha* contenidos en la NOM-059 tienen estudios basados en el método de evaluación de especies en riesgo de extinción de plantas (MER). Para el caso de *Mammillaria* un poco más del 5 por ciento de las especies listadas tienen análisis MER. Esto significa que el componente geográfico relacionado con la amplitud de la distribución, y necesario para categorizar a las especies en algún estado de riesgo, no ha sido considerado para la mayoría de las especies en la NOM-059.

La modelación geográfica permite que, a partir del conocimiento de registros y a través de variables ambientales, sea posible encontrar los requerimientos de supervivencia de determinadas especies. Así, el empleo de la modelación geográfica no solamente contribuye al esclarecimiento de circunscripciones taxonómicas, sino también a definir con mayor precisión categorías de especies en riesgo de extinción, establecer las áreas con mayor riqueza de especies e identificar sitios donde la presencia del taxón sea probable.

En este proyecto se esperaba que las especies con intervalos de variaciones morfológicas traslapadas mostraran delimitaciones geográficas que apoyaran su circunscripción taxonómica. Las preguntas científicas que dirigieron el estudio fueron ¿en qué cuencas hidrológicas de México se encuentra la mayor riqueza de especies muestreadas de ambos géneros? ¿el modelado del nicho ecológico de las especies contenidas en la NOM-059 coinciden con las distribuciones de menor amplitud?

## **DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **Calidad de la Información**

Se incorporaron a la base de datos con estructura correspondiente al estándar *Darwin Core*, 2183 registros de ambos géneros. En la tabla 1, se muestra el número de especies por género, así como el total de anotaciones por género y las colecciones científicas consultadas. Los acrónimos de las colecciones fueron inscritos

de acuerdo al catálogo de instituciones y colecciones de la CONABIO. Para el caso de las colecciones que no cuentan con registro oficial en esta institución se emplearon siglas de quien o quienes realizaron observaciones en campo. En el tabla 2, se muestra la información correspondiente al número de registros obtenidos para cada especie por colección consultada para ambos géneros. Posteriormente se incluye un análisis de los aspectos relevantes de la información obtenida

Tabla 1. Colecciones consultadas para los géneros *Coryphantha* y *Mammillaria*.

<b>Género</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Número de registros</b>	<b>Colecciones consultadas</b>
<b><i>Coryphantha</i></b>	<b>19</b>	<b>865</b>	<b>ASU:ASU</b> Arizona State University Herbarium. <b>BV</b> B. Vázquez. Observaciones personales <b>CIIDIR Durango- IPN</b> Herbario <b>D&amp;L</b> R. Dicht & A. Luthy. Observaciones personales <b>ENCB:ENCB-IPN.</b> Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. Herbario Fanerógamico Jerzy Rzedowski. <b>FESI-UNAM: IZTA</b> Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Herbario Iztacala. <b>FESZ-UNAM:FEZA.</b> Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Herbario Zaragoza <b>GBH</b> Herbarium of Geo Hinton (Colección particular). <b>IBUNAM:MEXU</b> Instituto de Biología UNAM. Herbario Nacional de México. <b>INECOL:IEB</b> Instituto de Ecología A.C. Herbario del Centro Regional del Bajío. <b>INECOL-XAL</b> Instituto de Ecología A.C. Herbario. <b>MOBOT:MO</b> Missouri Botanical Garden Saint Louis Herbarium. <b>UG</b> U. Guzmán. Observaciones personales. <b>UT:LL</b> University of Texas Austin. Lundell Herbarium <b>UT:TEX</b> University of Texas Austin, Herbarium.

*Mammillaria* 30

1318

**USNM:US** National Museum of Natural History Smithsonian Institution. United States National Herbarium.

**BV** B. Vázquez. Observaciones personales.

**ENCB:ENCB-IPN** Escuela Nacional de Ciencias Bioógicas, IPN. Herbario Fanerógamico Jerzy Rzedowski.

**GBH** Herbarium of Geo Hinton (Colección particular).

**IBUNAM:MEXU** Instituto de Biología, UNAM. Herbario Nacional de México.

**INECOL:XAL** Instituto de Ecología, A.C. Herbario.

**ML** M. Lacoste. Observaciones personales.

**RBG:K** Royal Botanic Gardens, Kew. Kew Herbarium.

**REPP** W. Reppenhagen. Observaciones personales.

**UG** U. Guzmán. Observaciones personales.

---

Tabla 2. Relación de registros obtenidos por especie y colección consultada

Especie	Ejemplares	ASU*	BVB**	CIIDIR-D*	D&L**	ENCB*	FEZA*	GBH*	IEB*	IZTA*	K*	LL*	ML**	MEXU*	MO*	REPP**	TEX*	UG**	US*	XAL*
<i>C. calipensis</i>	23		4											13				6		
<i>C. clavata</i>	33		3											24				6		
<i>C. delicata</i>	214		5					13	1					188				7		
<i>C. durangensis</i>	20		3	5	2							1		5				4		
<i>C. elephantidens</i>	16		5											9				2		
<i>C. erecta</i>	74		3				1		7					50				13		
<i>C. glanduligera</i>	62		2					4	1			1		54						
<i>C. glassii</i>	13		2											6				5		
<i>C. macromeris</i>	42	1	4	3								3		27			1	3		
<i>C. nickelsiae</i>	9		1					2						3	1		2			
<i>C. octacantha</i>	49		15			6				1				23				3	1	
<i>C. ottonis</i>	15		2	2		1								9	1					
<i>C. pallida</i>	22		2									1		18				1		

<i>C. poselgeriana</i>	38		1	5											29					3
Especie	Ejemplares	ASU*	BVB**	CIIDIR*	D&L**	ENCB*	FEZA*	GBH*	IEB*	IZTA*	K*	LL*	ML**	MEXU*	MO*	REPP**	TEX*	UG**	US*	XAL*
<i>C. pseudoradians</i>	42		6											35				1		
<i>C. pycnacantha</i>	24		1			9								13						1
<i>C. radians</i>	124	1	15			9			4					72	1			22		
<i>C. ramillosa</i>	19							2	1					13	1		2			
<i>C. retusa</i>	26		8											13				5		
<i>M. albilanata</i>	38												11	22				5		
<i>M. carnea</i>	30												4	15				11		
<i>M. compressa</i>	101		2										20	60				19		
<i>M. crinita</i>	104												7	87				10		
<i>M. decipiens</i>	17												3	7				7		
<i>M. densispina</i>	23												8	8				7		
<i>M. discolor</i>	16										1		6	5				3		1
<i>M. dixanthocentron</i>	26												11	12				3		
<i>M. duoformis</i>	11												4	2		3		2		

<i>M. elongata</i>	29	3											4	10					12
--------------------	----	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	----	--	--	--	--	----

Especie	Ejemplares	ASU*	BVB**	CIIDIR*	D&L**	ENCB*	FEZA*	GBH*	IEB*	IZTA*	K*	LL*	ML**	MEXU*	MO*	REPP**	TEX*	UG**	US*	XAL*
<i>M. formosa</i>	221							3					32	181				5		
<i>M. geminispina</i>	69												15	35				19		
<i>M. gigantea</i>	33												6	17				10		
<i>M. haageana</i>	46					2							14	19				9		2
<i>M. hahniana</i>	23												7	11				5		
<i>M. karwinskiana</i>	31		1										13	12				5		
<i>M. longimamma</i>	28		1										8	15				4		
<i>M. magnimamma</i>	135		2			15		1					21	74				22		
<i>M. muehlenpfordtii</i>	22								1				5	14				2		
<i>M. mystax</i>	27												11	9				7		
<i>M. parkinsonii</i>	15												2	4				9		
<i>M. perbella</i>	11												5	5				1		
<i>M. polyedra</i>	16												3	10				3		

<i>M. polythele</i>	30												8	17			5		
<i>M. rhodantha</i>	33		1			8								12	5		6		1

Especie	Ejemplares																			
		ASU*	BVB**	CIIDIR*	D&L**	ENCB*	FEZA*	GBH*	IEB*	IZTA*	K*	LL*	ML**	MEXU*	MO*	REPP**	TEX*	UG**	US*	XAL*
<i>M. sempervivi</i>	22		6										4	8					4	
<i>M. sphacelata</i>	39												4	27					8	
<i>M. spinosissima</i>	12								1		1		3						7	
<i>M. uncinata</i>	95					4		1					18	60					12	
<i>M. zephyranthoides</i>	15												3	7					5	
TOTAL	2183	2	98	15	2	54	1	26	16	1	2	6	272	1362	4	3	5	305	4	5

\*acrónimos registrados de colecciones

\*\* acrónimos empleados aquí para colecciones no registradas

Se obtuvieron 2183 registros para ambos géneros, de ellos 865 corresponden a *Coryphantha* y 1318 a *Mammillaria*. Fueron consultadas 19 colecciones, 14 oficiales y cinco particulares. En la figura 1 destaca el herbario MEXU con el mayor aporte de datos (1362), seguido por la información obtenida por Ulises Guzmán (UG) 305 registros, Michael Lacoste (ML) con 272, Balbina Vázquez (BV) con 98 y ENCB con 54.

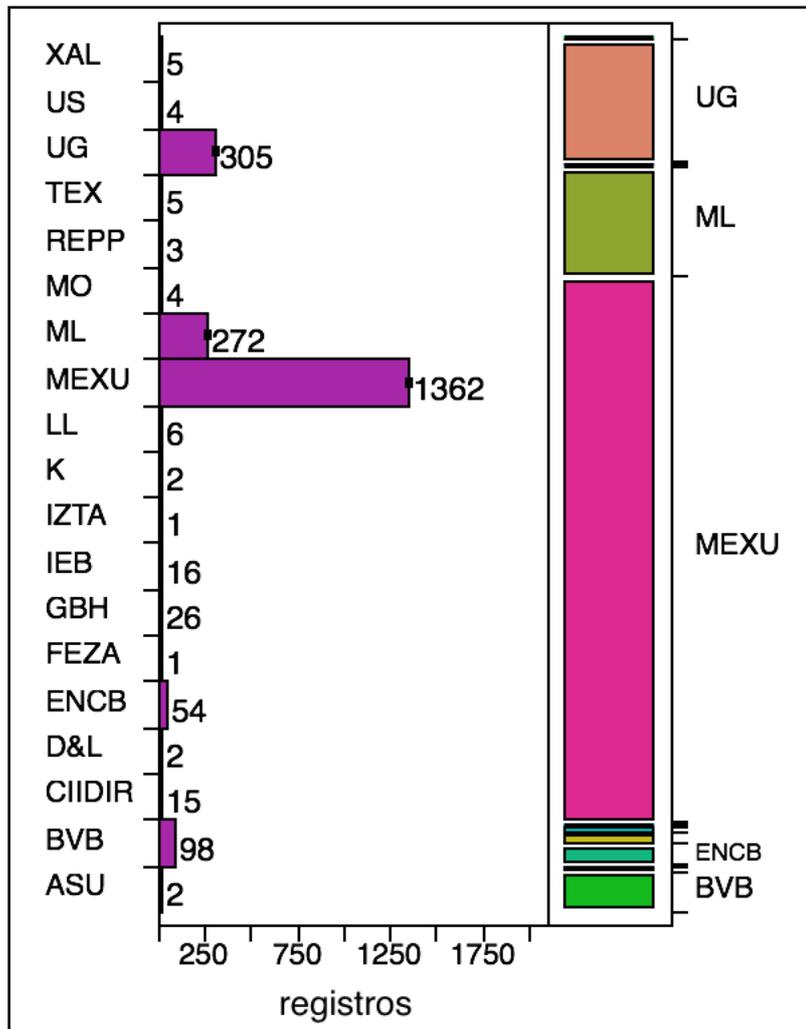


Fig. 1. Relación de registros obtenidos por colección científica. Los números sobre las barras indican la cantidad de registros.

Los datos obtenidos del Herbario Nacional, CIIDIR-Dgo, FEZA, GBH, IEB e IZTA fueron respaldados uno a uno a través de observación directa de los ejemplares. Se realizó labor curatorial en las 49 especies que conforman este proyecto. Además de atender a la circunscripción taxonómica de cada ejemplar se cuidó que la información geográfica fuera congruente entre localidad-municipio y estado. La curación de los

ejemplares se llevó a cabo por especialistas en ambos grupos. Así para el caso de *Coryphantha*, la revisión fue hecha por Balbina Vázquez y la de *Mammillaria* por Ulises Guzmán. Las aportaciones con mayor cantidad de registros después del MEXU corresponden a las observaciones en campo de UG, ML y BV que sumados representan 675 registros y equivalen aproximadamente la mitad de los datos derivados de MEXU. La información extraída de las notas de ML y de W. Reppenhagen (REPP.) fue analizada y ajustada a la clasificación de Guzmán *et al.*, (2003).

En la figura 2, se muestra que las especies con mayor número de registros corresponde a *Coryphantha delicata* con 214 accesiones y *C. radians* con 124 ejemplares. Ambas especies se distinguen por tener las distribuciones geográficas más amplias del género.

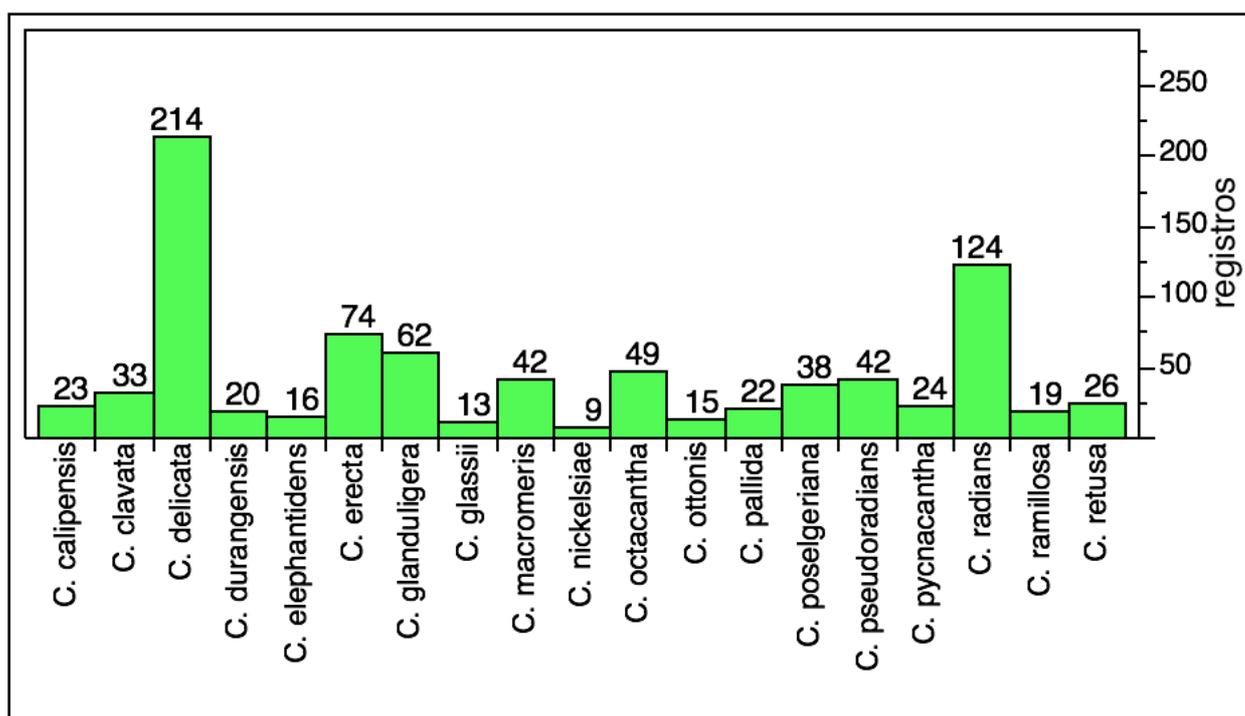


Fig. 2. Relación de registros por especie del género *Coryphantha*

La mayoría de los registros obtenidos para las especies de *Coryphantha* procedieron del Herbario Nacional a excepción de los datos para *Coryphantha durangensis* y *C. nickelsiae* (Tabla 2). Seis de las 19 especies analizadas para este género contaron con 20 o menos accesiones que fueron incorporadas a la base de

datos y cuatro más tuvieron entre 21 a 30 registros. La suma de estos dos grupos contabilizan el 52.5 % del total de especies analizadas.

En la figura 3, se encuentra el número de registros por especie de *Mammillaria*. La especie con mayor número de registros fue *M. formosa* con 221, seguida de *M. magnimamma* con 135, *M. crinita* con 104 y *M. compressa* con 101 accesiones. A pesar de que *M. uncinata* es la especie del género con la distribución geográfica más amplia (Guzmán com. pers,) no tiene la mayor representatividad en las colecciones.

El 60% de las especies de *Mammillaria* analizadas aquí tiene 30 o menos accesiones. La mayoría de las especies con menos de 30 registros tienen distribuciones restringidas a excepción de *M. decipiens*, *M. densispina*, *M. discolor*, *M. polyedra*, *M. spinosissima* y *M. zephyranthoides*. Algunas especies como *M. discolor* o *M. duoformis* se encuentran escasamente representadas en los herbarios y en el caso de *M. spinosissima* solo se encontró un registro en el herbario IEB.

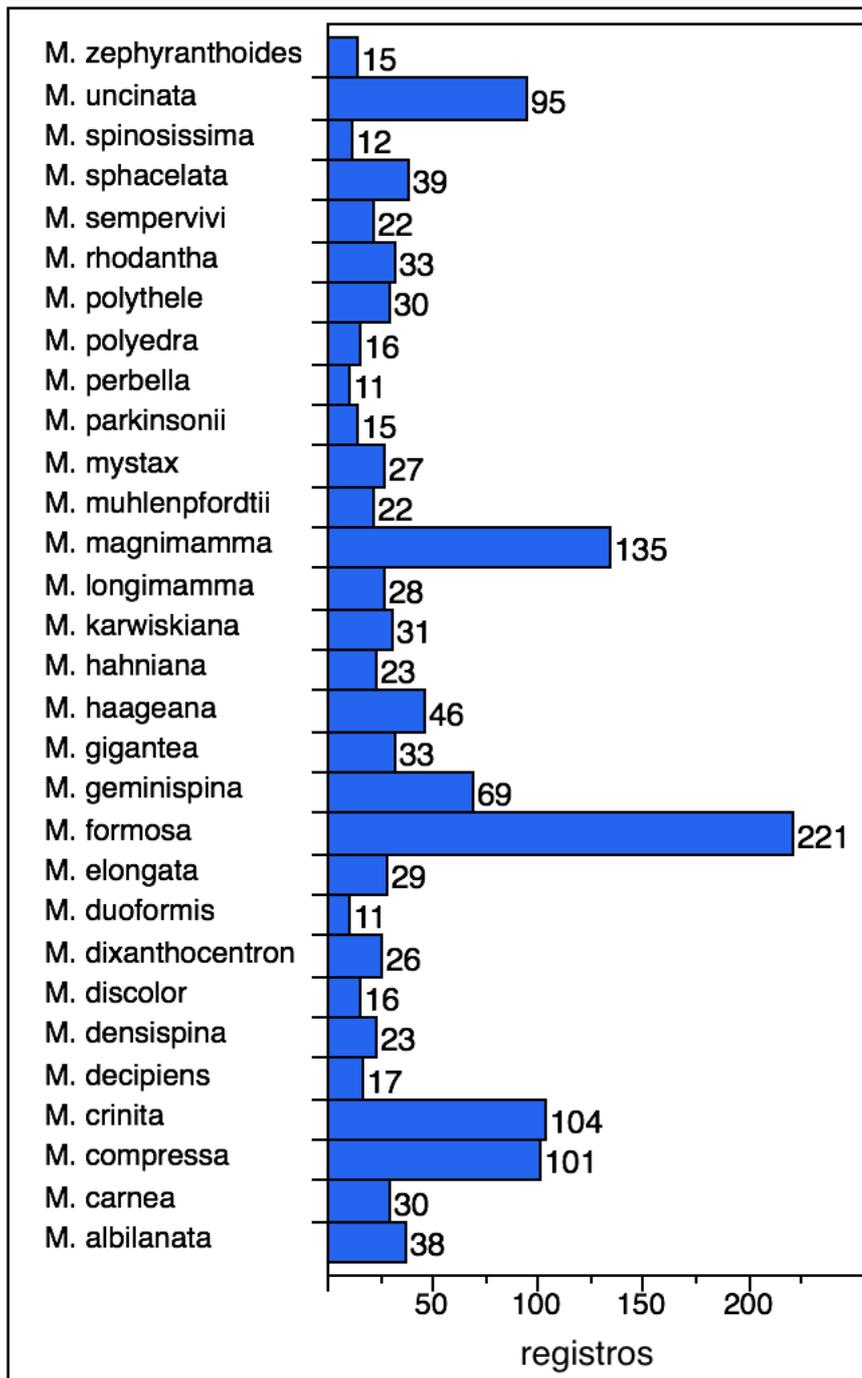


Fig. 3. Relación de especies de *Mammillaria* y registros obtenidos

### LIMPIEZA DE DATOS

La circunscripción taxonómica de las especies de *Coryphantha* se realizó de acuerdo a la clasificación de Dicht y Luthy (2005) y la de *Mammillaria* se empató con el criterio de Guzmán *et al.*, (2003) y Hunt (2006). Los datos geográficos obtenidos para cada uno de los ejemplares de las especies de *Coryphantha* y *Mammillaria* fueron

incorporados a la base de datos con estándar *Darwin Core*. Algunos ejemplares observados en los herbarios o cuya información fue extraída de observaciones de campo de otros recolectores que no contenían suficiente información morfológica o no se tuvo acceso a ella se descartaron. La deficiencia de estos datos dificultó en una primera aproximación una delimitación taxonómica inequívoca, toda vez que los ejemplares no reproductivos tienen rasgos morfológicos que comparten con diferentes especies.

Debido a que en general, los géneros *Coryphantha* y *Mammillaria* presentan numerosos complejos taxonómicos y en particular varias de las especies incluidas en este proyecto tienen problemas en su circunscripción taxonómica, para construir la base de datos fue necesario realizar labores curatoriales en los herbarios. La confirmación de las entidades taxonómicas estuvo a cargo de especialistas de ambos géneros. Para algunos registros se requirió la verificación en campo para conocer si efectivamente las coordenadas geográficas obtenidas de bases de datos particulares de algunos taxones correspondían con la especie en estudio. La información geográfica de estado, municipio, localidad y las geo-referencias fueron asimismo confirmadas.

Los datos obtenidos de localidades geo-referenciadas por especie se proyectaron en un espacio geográfico con el programa ArcGis 10.1. Se revisó que cada uno de los puntos fuera congruente con la distribución señalada en las referencias de Dicht y Luthy (2005) para *Coryphantha* y de Guzmán *et al.*, (2003) y Hunt (2006) para *Mammillaria*. Los valores atípicos proyectados y obtenidos de una primera inspección taxonómica fueron reconsiderados en el sentido de la ratificación taxonómica.

El intervalo ambiental en el que se distribuyeron los registros para cada una de las especies fue revisado e incorporado en la evaluación para confirmar la validez de los registros (Anexo 2 y 3). Siempre que fue posible acceder al ejemplar que amparaba los datos geográficos del registro se decidió conservar o eliminar el o los registros en función de si se consideraba que pertenecía a la especie en estudio o no.

## CRITERIO DE SELECCIÓN DE LA REGIÓN (M) POR ESPECIE

Todas las especies del género *Coryphantha* se encuentran distribuidas en México y solamente seis especies trascienden la frontera norte hacia el sur de los estados de Arizona, Nuevo México y Texas en los Estados Unidos de América. De las seis especies con distribución en EUA, dos fueron incorporadas en este proyecto, *Coryphantha macromeris* y *C. ramillosa*. Hay registros de la distribución de *C. macromeris* en Nuevo México y Texas. Sin embargo, esos registros aluden a zonas o regiones y no se proporcionan mayores elementos de referencia geográfica. Asimismo hay registros para *C. ramillosa* al sur de Texas, pero solamente fue posible incorporar uno de ellos por tener suficiente información geográfica.

Las especies de *Mammillaria* incluidas en este estudio se encuentran demarcadas solamente en México. La región de referencia fue delimitada utilizando la carta de cuencas y regiones hidrológicas de la Comisión Nacional del Agua (INEGI-INE-CONAGUA, 1998). Las cuencas hidrológicas constituyen sistemas complejos que contienen una variedad de componentes, niveles jerárquicos y profundas interconexiones (Moreno y Renner, 2007). Estas características, hacen que estos sistemas sean excelentes unidades de manejo de ecosistemas (Sarukhán y Maass, 1990). Además el enfoque de cuencas también explica la distribución de las especies en términos de que, aun cuando se presentan condiciones ambientales similares, operan historias evolutivas distintas. En la figura 4 se presentan las cuencas hidrológicas de México donde se distribuyen las especies de *Coryphantha* modeladas en este proyecto y en la figura 5, se muestran las cuencas hidrológicas de las especies de *Mammillaria*. En la tabla 3 se encuentra el nombre de las cuencas hidrológicas donde se distribuye cada una de las especies.

El criterio para la selección y delimitación de la región M por especie estuvo en función de los registros de distribución real y de los resultados preliminares del modelado de MaxEnt. Así, para los casos en que las predicciones de probabilidad de distribución de las especies fue igual o mayor al 70 por ciento en las fronteras de la región M empleada inicialmente, el área fue ampliada para evitar esa condición. Una vez elegida el área M para cada especie, se procedió a borrar las divisiones entre las cuencas por medio de la herramienta *Dissolve* del programa ArcMap 10.1. Después,

estas áreas se utilizaron para recortar el área M correspondiente de las capas bioclimáticas utilizando la herramienta *Clip* de ArcMap 10.1.

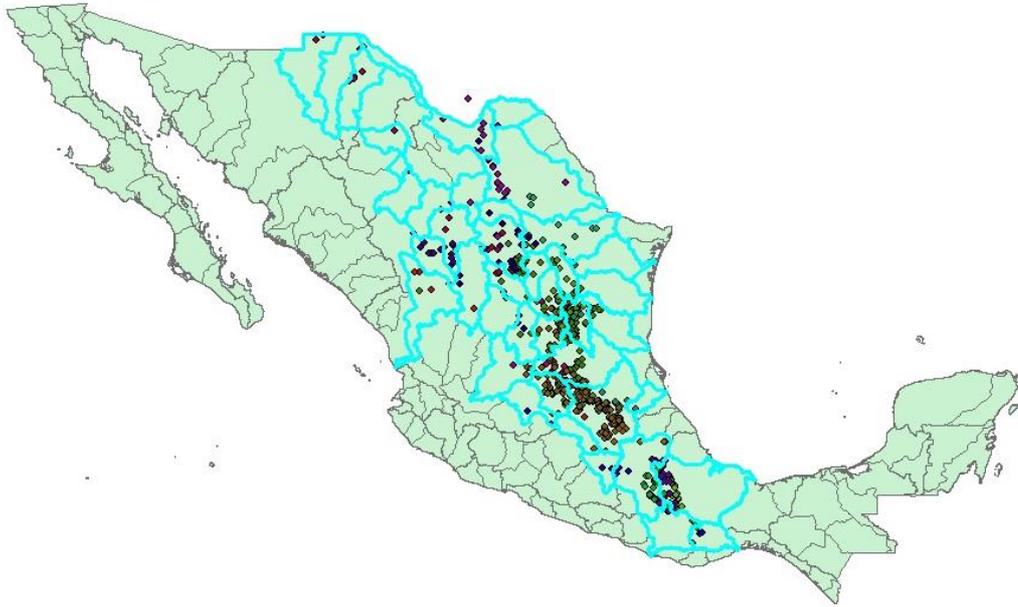


Fig. 4. Cuencas hidrológicas en que se distribuyen las 19 especies de *Coryphantha*

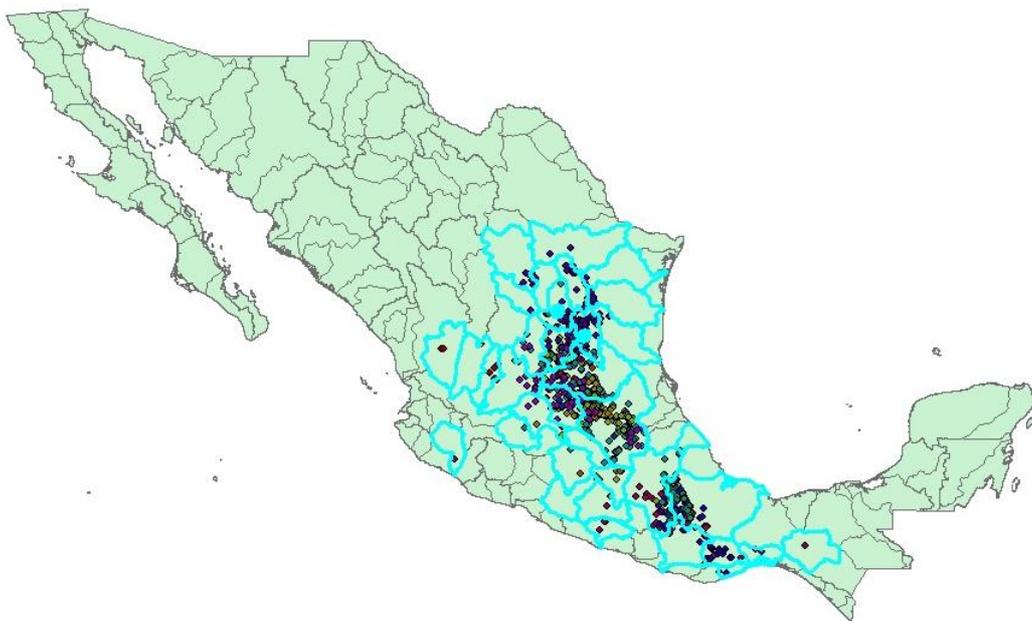


Fig. 5 Cuencas hidrológicas en que se distribuyen las 30 especies de *Mammillaria*

Tabla 3. Relación de especies y su distribución en cuencas hidrológicas

Especie	Cuenca hidrológica
<b><i>C. calipensis</i></b>	Río Papaloapan
<b><i>C. clavata</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja, Río Verde Grande, Presa San José-Los Pilares, San Luis Potosí
<b><i>C. delicata</i></b>	Río San Pedro, Río Aguanaval, Lago de Mayrán y Viesca, Río Bravo-San Juan, Camacho-Gruñidora, Sierra de Rodríguez, San Pablo y otras, Río San Fernando, Fresnillos-Yesca, Matehuala, Soto La Marina, Presa San José –Los Pilares, San Luis Potosí, La Tula, Río Tamesí, Río Tamuín
<b><i>C. durangensis</i></b>	Lago de Mayrán y Viesca, Río Aguanaval, Río Nazas-Torreón. Río Nazas-Rodeo, Arroyo La India-Lago Palomas, Presa Lázaro Cárdenas
<b><i>C. elephantidens</i></b>	Río Tehuantepec, Río Atoyac-B, Río Atoyac-A, Río Grande de Amacuzac, Río Lerma-Toluca, Río Cutzamala, Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Lago de Yuriria, Río Laja, Río Lerma-Salamanca
<b><i>C. erecta</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja
<b><i>C. glanduligera</i></b>	Río Tamuín, San Luis Potosí, La Tula, Río Tamesí, Matehuala, San Pablo y otras, Soto La Marina
<b><i>C. glassii</i></b>	Río Tamuín
<b><i>C. macromeris</i></b>	Matehuala, Río Aguanaval, Camacho-Gruñidora, Sierra de Rodríguez, Río Nazas-Torreón, Lago de Mayrán y Viesca, Río Bravo-San Juan, Arroyo La India-Lago Palomas, Lago del Rey, Valle Hundido, Río Bravo-Sosa, El Llano-Lago del Milagro, Lago del Guaje-Lipanes, Río Bravo-Ojinaga, Río Bravo-Presa de la Amistad, Río Conchos-Presa el Granero, Río Conchos-Ojinaga, Polvotillos-Arroyo el Marqués, Arroyo El Carrizo y otros, Río Bravo-Ciudad Juárez, Río del Carmen, Río Santa María, Río Casas Grandes
<b><i>C. nickelsiae</i></b>	Río Bravo-San Juan, Río Bravo-Sosa
<b><i>C. octacantha</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja, La Tula
<b><i>C. ottonis</i></b>	Río Moctezuma, Río Lerma-Toluca, Río Lerma-Salamanca, Río Laja, Río Tamuín, Río Verde Grande, Presa San José-Los Pilares, San Luis

	Potosí, Río Juchipila, Fresnillos-Yesca, Río Bolaños, Río Aguanaval, Río Huaynamota, Río San Pedro, Río Nazas-Rodeo
<b><i>C. pallida</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A
<b><i>C. poselgeriana</i></b>	Presa San José-Los Pilares, Fresnillos-Yesca, Río Aguanaval, Camacho-Gruñidora, Río Nazas-Rodeo, Río Nazas-Torreón, Lago de Mayrán y Viesca, Río Bravo-San Juan, Arroyo La India-Lago Palomas, Lago del Rey, Valle Hundido, Río Bravo-Sosa, Río Bravo-Ojinaga
<b><i>C. pseudoradians</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A, Río Atoyac-B
<b><i>C. pycnanantha</i></b>	Río Atoyac-A, Río Tecolutla, Río Grande de Amacuzac, Río Lerma-Toluca, Río Moctezuma
<b><i>C. radians</i></b>	Río Moctezuma, Río Lerma-Toluca, Río Lerma-Salamanca, Río Laja, Río Tamuín, Río Verde Grande, Presa San José-Los Pilares, San Luis Potosí, Matehuala
<b><i>C. ramillosa</i></b>	Lago de Mayrán y Viesca, Valle Hundido, Lago del Rey, Río Bravo-Sosa, Río Conchos-Presa de la Colina, El Llano-Lago del Milagro, Lago del Guaje-Lipanes, Río Conchos-Ojinaga, Polvotillos-Arroyo El Marqués, Río Bravo-Ojinaga, Río Bravo-Presa de la Amistad
<b><i>C. retusa</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A, Río Atoyac-B, Río Tehuantepec
<b><i>M. albilanata</i></b>	Río Armería, Río Coahuayana, Río Tepalcatepec, Río Tepalcatepec-Infiernillo, Río Balsas-Infiernillo, Río Tacambaro, Río Cutzamala, Río Balsas-Zirándaro, Río Grande de Amacuzac, Río Balsas-Mezcala, Río Papagayo, Río Tlapaneco, Río Atoyac-A, Río Papaloapan, Río Atoyac-B, Río Tehuantepec, Río Astata y otros, Laguna Superior e Inferior, Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez
<b><i>M. carnea</i></b>	Río Atoyac-B, Río Papaloapan
<b><i>M. compressa</i></b>	Río Moctezuma, Río Laja, Río Tamuín, San Luis Potosí, La Tula, Río Tamesí, Soto La Marina, San Pablo y otras, Matehuala
<b><i>M. crinita</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja, Río Lerma Salamanca, San Luis Potosí, Presa San José-Los Pilares, Matehuala
<b><i>M. decipiens</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Presa San José-Los Pilares, San Luis Potosí

<b><i>M. densispina</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja, Río Lerma-Salamanca, Río Verde Grande, Río Huaynamota, Río Bolaños, Río Juchipila
<b><i>M. discolor</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-B, Río Atoyac-A, Río Moctezuma
<b><i>M. dixanthocentron</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A
<b><i>M. duoformis</i></b>	Río Atoyac-A
<b><i>M. elongata</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín
<b><i>M. formosa</i></b>	Río Tamuín. Río Tamesí, Soto La Marina, Presa San José-Los Pilares, San Luis Potosí, La Tula, Matehuala, Camacho-Gruñidora, Sierra de Rodríguez, San Pablo y otras, Río San Fernando, Lago de Mayrán y Viesca, Río Bravo-San Juan
<b><i>M. geminispina</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, La Tula, San Luis Potosí
<b><i>M. gigantea</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja
<b><i>M. haageana</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A, Río Nautla y otros, Río Grande de Amacuzac, Río Moctezuma
<b><i>M. hahniana</i></b>	Río Tamuín
<b><i>M. karwinskiana</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A, Río Atoyac-B, Río Tehuantepec, Río Astata y otros
<b><i>M. longimamma</i></b>	Río Moctezuma
<b><i>M. magnimamma</i></b>	Río Moctezuma, Río Atoyac-A, Río Lerma-Toluca, Río Laja, Río Tamuín, Río Verde Grande, Presa San José-Los Pilares, Río La Tula, San Luis Potosí, Matehuala, Fresnillos-Yesca
<b><i>M. muehlenpfordtii</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja
<b><i>M. mystax</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A
<b><i>M. parkinsonii</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín
<b><i>M. perbella</i></b>	Río Laja, Río Moctezuma
<b><i>M. polyedra</i></b>	Río Papaloapan, Río Atoyac-A, Río Atoyac-B
<b><i>M. polythele</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja, Río Lerma-Salamanca
<b><i>M. rhodantha</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, Río Laja, Río Lerma-Salamanca, Río Juchipila, Río Verde Grande, Río Cutzamala, Lago Pátzcuaro-Cuitzeo y Lago de Yuriria, Río Lerma-Chapala
<b><i>M. sempervivi</i></b>	Río Moctezuma, Río Tamuín, San Luis Potosí

- M. sphacelata*** Río Papaloapan, Río Atoyac-A
- M. spinosissima*** Río Balsas-Mezcala, Río Grande de Amacuzac, Río Balsas-Zirándaro, Río Cutzamala
- M. uncinata*** Río Papaloapan, Río Atoyac-A, Río Moctezuma, Río Lerma-Salamanca, Río Laja, Río Tamuín, Río Juchipila, Río Verde Grande, Fresnillos-Yesca, Presa San José Los Pilares, San Luis Potosí, Matehuala, San Pablo y otros, Río San Fernando
- M. zephyranthoides*** Río Atoyac-A, Río Atoyac-B, Río Papaloapan, Río Moctezuma, Río Laja, San Luis Potosí

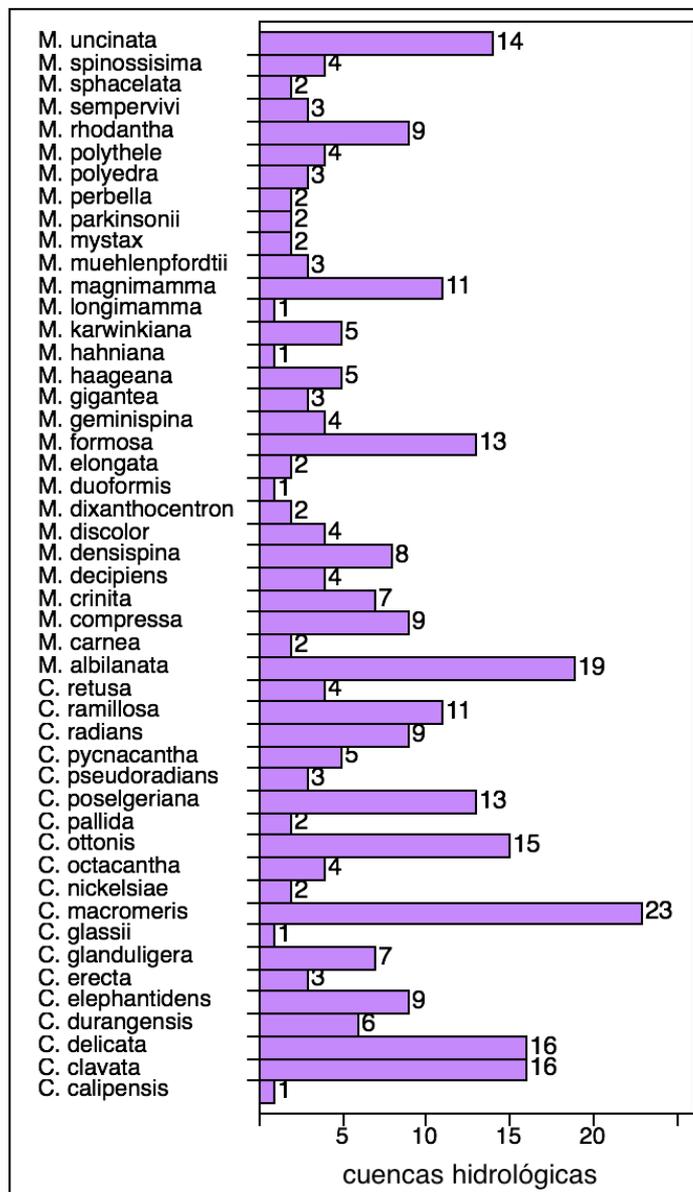


Fig. 6. Número de cuencas hidrológicas donde se distribuyen las especies de *Coryphantha* y *Mammillaria*.

En respuesta a la pregunta planteada aquí sobre ¿en qué cuencas hidrológicas se encuentran mayormente distribuidas las especies modeladas de *Coryphantha* y *Mammillaria*?, la respuesta es que para ambos géneros es hacia las cuencas del centro del país. En la figura 6 es posible apreciar que la mayoría de las especies (33) de ambos géneros se distribuyen en seis o menos cuencas y 16 especies tienen una distribución en siete o más cuencas. *C. macromeris* es la especie cuya distribución abarca el mayor número de cuencas con 23.

Las figuras 7 y 8 muestran la proyección geográfica de las localidades de *Coryphantha octacantha* y *Mammillaria zephyranthoides* en relación con las cuencas hidrológicas.



Figura 7. Proyección geográfica de las localidades de *Coryphantha octacantha* en

relación con las cuencas hidrológicas.



Figura 8. Proyección geográfica de las localidades de *Mammillaria zephyranthoides* en relación con las cuencas hidrológicas.

## VARIABLES UTILIZADAS EN LA MODELACIÓN

Las 19 variables empleadas (tabla 4) para la modelación fueron obtenidas por el Dr. Oswaldo Téllez, quien a su vez empleó la interpolación de los valores de temperatura y precipitación de la Red de Estaciones Meteorológicas Estándar del sur de E.U.A, México y norte de Centroamérica, mediante los programas ANUSPLIN v.4.3 y ANUCLIM v. 6.1, a una resolución de 1 km<sup>2</sup> (Cuervo-Robayo *et al.* 2013). La información se extrajo con el programa Diva-Gis con la herramienta *extract environmental data*.

Tabla 4. Variables climáticas empleadas en la modelación de especies de *Coryphantha* y *Mammillaria*

Variable	Descripción
Bio 1	Temperatura promedio anual
Bio 2	Oscilación diurna de la temperatura (promedio mensual (temp. máx-temp. min)).
Bio 3	Isotermalidad (bio2/bio7)(*100)
Bio 4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100)
Bio 5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido
Bio 6	Temperatura mínima promedio del periodo más cálido
Bio 7	Oscilación anual de la temperatura (bio5-bio6)
Bio 8	Temperatura promedio del trimestre más lluvioso
Bio 9	Temperatura promedio del trimestre más seco
Bio 10	Temperatura promedio del trimestre más cálido
Bio 11	Temperatura promedio del trimestre más frío
Bio 12	Precipitación anual
Bio 13	Precipitación del periodo más lluvioso
Bio 14	Precipitación del periodo más seco
Bio 15	Estacionalidad de la precipitación
Bio 16	Precipitación del trimestre más lluvioso
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco

Bio 18                    Precipitación del trimestre más cálido

Bio 19                    Precipitación del trimestre más frío

Se utilizaron todas las variables, debido a que inicialmente se desconocía cuál de ellas determinaba con mayor significancia la distribución de cada una de las especies. De antemano se conocía que la temperatura incide en el establecimiento y distribución de cactáceas globosas (Martorell y Patiño, 2006) y desde luego que la humedad también es determinante en ambos aspectos ecológicos mencionados.

## MÉTODO DE MODELACIÓN

Los modelos de distribución geográfica potencial fueron generados empleando el programa MaxEnt v. 3.3 que utiliza el método estadístico de máxima entropía, cuyo principio establece que la mejor aproximación a una distribución desconocida es aquella más extendida pero sujeta a restricciones conocidas (Phillips et al. 2006; Phillips y Dudik, 2008). Este programa estima la distribución más extendida posible (máxima entropía), ajustándose a los valores de variables predictivas en las localidades de presencia conocida de la especie. Se eligió este método porque requiere información sobre la presencia de las especies, es decir cuando no se tienen datos de ausencia verificados.

Se generaron tablas por especie que contuvieron los campos: especie, longitud en coordenadas decimales (X) y latitud en coordenadas decimales (Y) y se generó un archivo de texto para ser exportadas a Maxent, junto con las variables climáticas cortadas con el área M correspondiente, para cada una de las especies. En el recuadro *Environmental Layers* y con la opción *Browse* se importaron las 19 variables climáticas que se encontraban en la carpeta *GarpLayers*. Se deshabilitó la variable *mask* y se habilitaron las opciones *Create response curves* y *Do jackknife to measure variable importance*. Con el botón *Settings*, se seleccionó la pestaña *Basic*. Se cambiaron los valores *Random test percentage* de 0 a 25. Posteriormente en la pestaña *Experimental* se activaron las pestañas *Write background predictions* y *Show exponent in response curves*. Con la opción *Run* se ejecutó Maxent y elaboró el

modelo. Los archivos generados por Maxent se guardaron en una carpeta denominada "inicio". Los archivos de carpeta "previa" fueron abiertos para ver el modelo correspondiente. Al abrir el archivo html se ubicó el gráfico *Jackknife of regularized training gain for...* que mostró la contribución de cada variable al modelo. En un análisis de Medias Binomial, se seleccionaron aquellas variables por arriba o dentro de un nivel del 99.95 % de confianza y se emplearon para realizar un segundo modelado. Las variables fueron seleccionadas a través de un análisis de medias con el paquete Minitab. El archivo de salida se denominó "final" para distinguirlo de la carpeta "inicio". Los procedimientos aquí descritos fueron ejecutados siguiendo el Manual práctico para Maxent (Ortiz y Redonda, 2011).

## **PARÁMETROS UTILIZADOS EN LA MODELACIÓN**

Se utilizaron los parámetros definidos por defecto en MaxEnt 3.3. El 75% de los registros de ocurrencia fueron utilizados como puntos de entrenamiento y el 25% como puntos de validación. Se utilizó un umbral de convergencia de  $10^{-5}$  con 500 iteraciones como un límite superior para cada corrida.

Los resultados de los modelos fueron expresados en formato logístico, que da un estimado de la probabilidad de presencia con valores que van de cero, para hábitats inapropiados, a uno, para los hábitats más apropiados (Phillips y Dudik, 2008). Se mantuvieron en las opciones predefinidas el número de iteraciones del algoritmo, 10000 puntos de trasfondo elegidos al azar para representar las condiciones ambientales disponibles.

En la construcción de los modelos de distribución resultan críticos dos factores: la calidad de los datos y las variables predictivas seleccionadas. En el primer caso se dispuso de datos extraídos en su mayoría de herbarios y no de muestreos especialmente diseñados para generar modelos de distribución. Se procuró que estos registros no dejarán lugar a dudas de su presencia en determinadas localidades. Así, se verifico, cuando fue posible, que los ejemplares correspondieran con el taxón correspondiente. La selección de las variables predictivas se consideraron por ser las disponibles y no las que por tener conocimiento fueran las causantes directas de la distribución de especies.

## EVALUACIÓN DEL MODELO

Para estimar la capacidad de predicción de cada modelo, se analizó el área bajo la curva (AUC), donde se observa la capacidad de discriminación de una presencia (sensibilidad) versus la capacidad de discriminación de una ausencia (especificidad).

Los modelos de máxima entropía obtenidos para las especies de *Coryphantha* mostraron una alta capacidad predictiva. El 73.6 por ciento de los taxones alcanzó valores del estadístico del área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés) mayores a 0.90, en tanto que el 26.3% generaron modelos con buena precisión con valores entre 0.7 a 0.89 (Tabla 5). Las variables bioclimáticas que más frecuentemente resultaron tener mayor capacidad predictiva para el género *Coryphantha* fueron la precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 9), la precipitación del trimestre más frío (Bio 8) y la precipitación del período más lluvioso (Bio 11).

Tabla 5. Resultados obtenidos de la modelación geográfica de 19 especies de *Coryphantha*. Para cada especie se indica el número de localidades empleadas para desarrollar el modelo y los valores del índice de área bajo la curva (AUC).

Especie	N	AUC
<i>C. calipensis</i>	23	0.984
<i>C. clavata</i>	33	0.93
<i>C. delicata</i>	214	0.934
<i>C. durangensis</i>	20	0.832
<i>C. elephantidens</i>	16	0.848
<i>C. erecta</i>	74	0.94
<i>C. glanduligera</i>	62	0.92
<i>C. glassii</i>	13	0.907
<i>C. macromeris</i>	42	0.874

<i>C. nickelsiae</i>	9	0.744
<i>C. octacantha</i>	49	0.948
<i>C. ottonis</i>	15	0.943
<i>C. pallida</i>	22	0.971
<i>C. poselgeriana</i>	38	0.843
<i>C. pseudoradians</i>	42	0.978
<i>C. pycnantha</i>	24	0.917
<i>C. radians</i>	124	0.902
<i>C. ramillosa</i>	19	0.915
<i>C. retusa</i>	26	0.946

Los modelos de máxima entropía obtenidos para las 30 especies de *Mammillaria* mostraron en un 70 por ciento de los casos una alta capacidad predictiva con valores del estadístico AUC mayores a 0.90 y un 30 por ciento correspondieron a valores entre 0.8 a 0.89 (Tabla 6). Los modelos con valores de AUC por encima de 0.75 pueden ser considerados potencialmente útiles para predecir las distribuciones de las especies (Phillips et al. 2006) y buenos a excelentes aquellos con AUC mayores a 0.9 (Elith et al. 2006).

Las variables bioclimáticas con mayor capacidad predictiva para la generación de modelos de distribución para el género *Mammillaria* fueron la precipitación del trimestre más cálido (Bio 7), la precipitación del trimestre más frío (Bio 8) y la precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 9).

Tabla 6. Resultados obtenidos de la modelación geográfica de 30 especies de *Mammillaria*. Para cada especie se indica el número de localidades empleadas para desarrollar el modelo y los valores del índice de área bajo la curva (AUC).

Especie	N	AUC
M. albilanata	38	0.839

M. carnea	30	0.974
M. compressa	101	0.907
M. crinita	104	0.838
M. decipiens	17	0.921
M. densispina	23	0.853
M. discolor	16	0.923
M. dixanthocentron	26	0.985
M. duoformis	11	0.911
M. elongata	29	0.977
M. formosa	221	0.923
M. geminispina	69	0.933
M. gigantea	33	0.938
M. haageana	46	0.94
M. hahniana	23	0.972
M. karwinskiana	31	0.89
M. longimamma	28	0.971
M. magnimamma	135	0.887
M. muehlenpfordtii	22	0.969
M. mystax	27	0.934
M. parkinsonii	15	0.988
M. perbella	11	0.936
M. polyedra	16	0.856
M. polythele	30	0.944
M. rhodantha	33	0.899
M. sempervivi	22	0.93
M. sphacelata	39	0.961
M. spinosissima	12	0.818
M. uncinata	95	0.895
M. zephyranthoides	15	0.922

En las figuras 9 y 10 se muestran las gráficas de sensibilidad-especificidad y los valores de AUC para *Coryphantha calipensis* y para *Mammillaria*

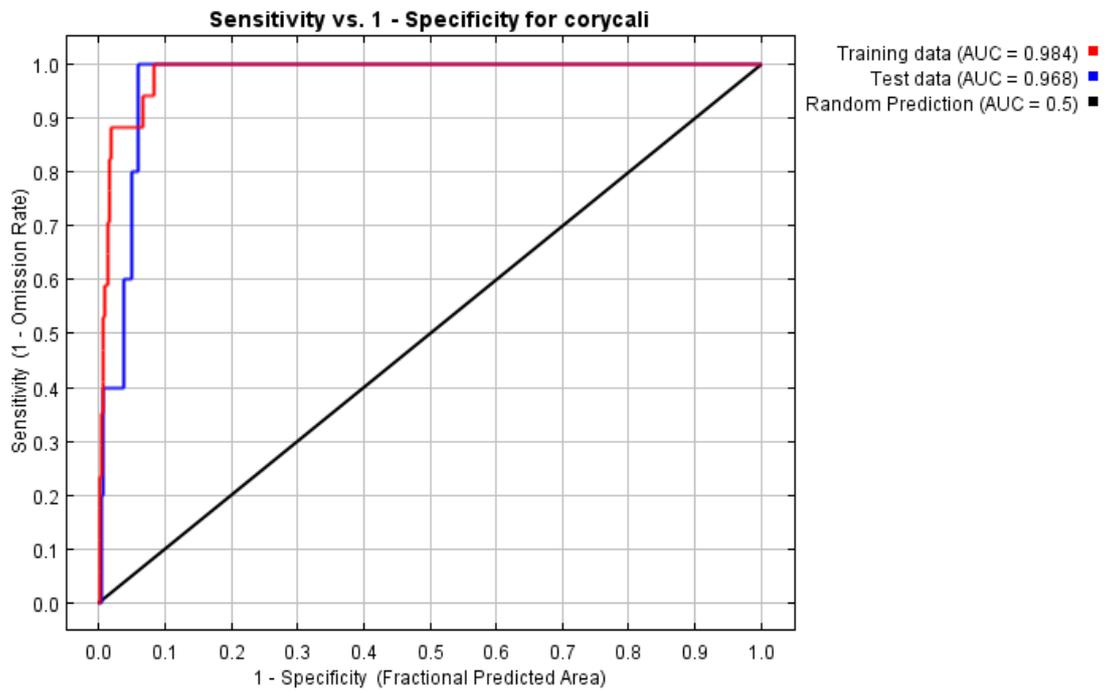


Figura 9. Valores de AUC en el modelo de *Coryphantha calipensis*

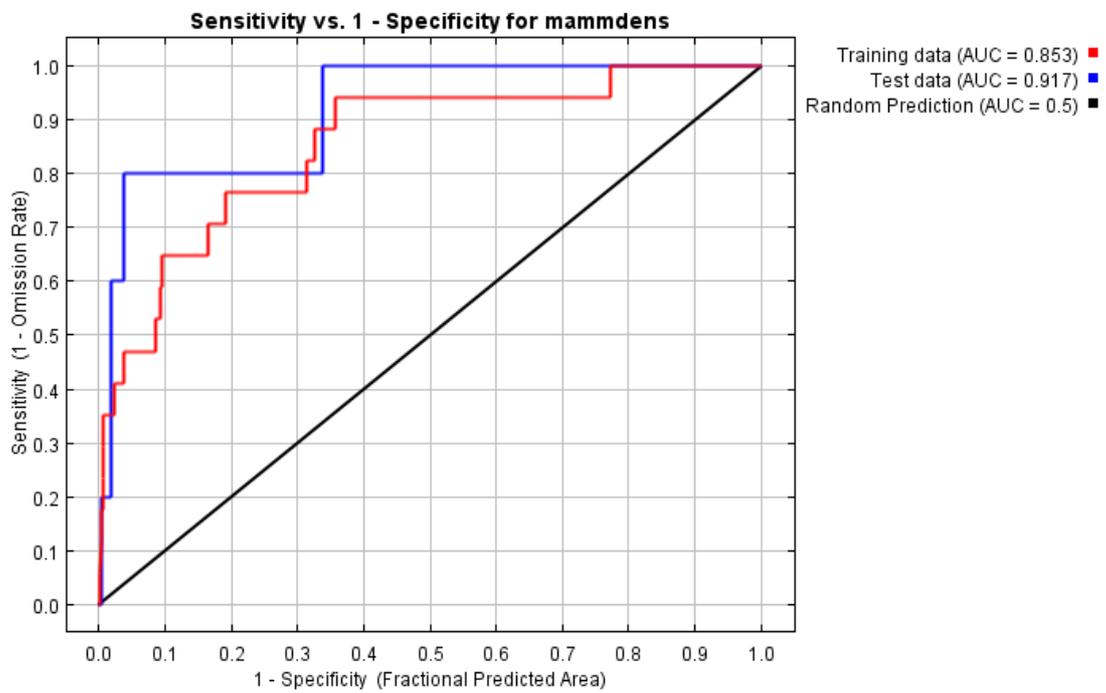


Figura 10. Valores de AUC en el modelo de *Mammillaria densispina*

Los modelos obtenidos fueron transformados a mapas binarios utilizando el método de 'ten percentil' en todos los casos, a excepción de la especie *C. octacantha*, para la que se utilizó el 'Minimum training presence'.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El principal logro de este proyecto fue establecer una base de datos para 49 especies de cactáceas con alta confiabilidad taxonómica que permitió sustentar modelos de distribución para cada una de las especies. Entre las debilidades se encuentra la dificultad para incrementar los registros de las especies analizadas, toda vez que los recolectores de estas especies con frecuencia indican precariamente los datos geográficos, esto con la idea de evitar saqueos o recolectas indiscriminadas. Representó una contrariedad homologar registros derivados de bases de datos no digitalizados que carecen de las *exsiccata*. La actividad de relacionar el binomio especie-localidad geográfica fue ardua.

La parte del proceso de modelado que puede mejorarse es incrementar el número de registros para elaborar el modelado. La mayoría de las especies de este proyecto tienen escasa información (ver anexos 2 y 3) y se necesitan conocer e incorporar más localidades. A pesar de ello, fue posible generar modelos de distribución geográfica a partir de datos limitados.

La delimitación de la región M fue planteada para cada una de las especies de ambos géneros y por consiguiente fue distinta para cada taxón. La circunscripción de esta área dependió básicamente de dos factores, el primero fue los datos de distribución real que se recabaron y el segundo, de los resultados de modelación. Cuando estos últimos generaron probabilidades altas ( $\geq 0.7$ ) de distribución en las fronteras o bordes de la región M previamente definida, se modificó esta región en el sentido de incrementarla.

## REFERENCIAS

Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. I. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Bravo-Hollis, H. & Sánchez-Mejorada, H. 1991. Las cactáceas de México. Vol III. 2da. Ed. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

Cuervo-Robayo, A. P., Téllez-Valdés O., Gómez-Albores M. A., Venegas-Barrera S., Manjarrez J., y Martínez-Meyer E. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3848.

Dicht, R. F. & Luthy, A. D. 2005. *Coryphantha*. Cacti of Mexico and Southern USA. 2005. Springer-Verlag. Stuttgart.

Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. M. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.

Guzmán, U., Arias, S. & Dávila, P. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. UNAM-CONABIO. México, D.F.

Hunt, D. R. 2006. *The New Cactus Lexicon*. D. H. Books. Milborne Port, England.

Hutchinson, M. 1995. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International Journal of GIS* 9: 385-403.

INEGI-INE-CONAGUA, 2007. Documento técnico del mapa de Cuenca's hydrological de México (escala 1:250 000).

Martorell, C. & Patiño, P. 2006. Globose cacti ( *Mammillaria*) living on cliffs avoid high temperatures in hot dryland of Southern Mexico. *Journal of Arid Environments*

67: 541-552.

Moreno, A. D. y J. Renner (eds.). 2007. Gestion integral de cuencas. La experiencia del proyecto regional cuencas andinas. Centro internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 236 pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna Silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusion, exclusion o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial. 30 de diciembre de 2010.

Ortiz, E. y R. Redonda. 2011. Manual práctico para MaxEnt. Instituto de Biología, UNAM. 20 pp

Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190: 231-259.

Phillips, S. J. y M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography 31: 161-175

Rzedowski, J. 1991. El endemismo en la flora fanerogámica Mexicana: una apreciación analítica preliminary. Acta Botánica Mexicana 15: 47-64

Sarukhán, J. y J.M. Maass. 1990. Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas: el sistema de Cuenca hidrológica. En: Medio Ambiente y desarrollo en México. Vol I (E. Leff ed.). UNAM (CIIH). Porrúa. Pp. 81-114.

Xu, T. y Hutchinson, M. 2009. ANUCLIM version 6.1. User guide. The Australian National University. Australia.

Zimmerman, A. 1985. Systematics of the genus *Coryphantha* (Cactaceae). Dissertation University of Texas at Austin.