

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

---



**NICHO FUNDAMENTAL Y RANGO DE TOLERANCIA DE  
*CORYPHANTHA CHIHUAHUENSIS* (CACTACEAE), CHIHUAHUA, MÉXICO**

POR:

**M.D.U.A. IRMA KARINA IBARRA DÍAZ VELARDE**

**DISERTACIÓN PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DORCTOR IN PHILOSOPHIA ÁREA MAYOR RECURSOS NATURALES**



Nicho fundamental y rango de tolerancia de *Coryphantha chihuahuensis* (Cactaceae), Chihuahua, México. Disertación presentada por Irma Karina Ibarra Díaz Velarde como requisito para obtener el grado de Doctor in Philosophia, ha sido aprobada y acepta por:

Ph. D. Carlos Ortega Ochoa  
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología

Ph.D. Alma Delia Alarcón Rojo  
Secretaria de Investigación y Posgrado

D. Ph. Agustín Sorral Luna  
Coordinador Académico

D. Ph. Tutchka Lebgue Keleng  
Presidente

16 de Junio de 2017

Fecha

Comité:

D. Ph. Tutchka Lebgue Keleng  
Dr. Oscar Viramontes Olivas  
Ph. D. Ignacio Reyes Cortes  
Dr. Juan Ángel Ortega Gutiérrez  
Ph. D. Carlos Morales Nieto

© Derechos Reservados  
IRMA KARINA IBARRA DÍAZ VELARDE  
DIRECCIÓN: PERIFÉRICO FRANCISCO  
R. ALMADA KM. 1, CHIHUAHUA,  
CHIH., MÉXICO C.P. 31453  
JUNIO 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía y compañía.

A la Facultad de Zootecnia y Ecología por la oportunidad que me brindó al poder realizar mis estudios de doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la confianza depositada en mí, al brindarme su apoyo económico a lo largo de mis estudios de doctorado.

Al Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C. (CIMA), por su apoyo en la realización de análisis en sus instalaciones. En especial al Ing. Enrique Torres por su valiosa guía y enseñanza.

A mi asesor Toutcha Lebgue Keleng, por su gran y valiosa guía; por su tiempo y compromiso; por su amistad y paciencia.

A los miembros de mi comité, Carlos Morales Nieto, Juan Ángel Ortega Gutiérrez, Ignacio Reyes Cortes y Oscar Viramontes Olivas, por su gran y valiosa guía; por su tiempo y compromiso; por su amistad y paciencia.

A mis maestros principalmente Toutcha Lebgue Keleng, Carlos Morales Nieto, Lorenzo Antonio Durán, Eduardo Santellano, Sandra Rodríguez, Juan Ángel

Ortega y Alicia Melgoza, por su entrega y dedicación; por su valioso apoyo, guía y amistad.

A mis compañeros Alicia, Irma Evelina, Ivette, Mika, por su gran compañía en mis salidas a campo, a Víctor por su apoyo y enseñanza en programas computacionales; a Olivia Sosa por su gran apoyo, enseñanza y motivación que me brindo en este gran proyecto.

Al personal administrativo de la Facultad de Zootecnia y Ecología en especial a Alma Alarcón Rojo por su apoyo y amistad.

A Claudia Silva por todo su apoyo en los trámites administrativos y amistad.

A Memo por apoyar a que esto se llevara a cabo.

A todos mis amigos que de alguna u otra forma aportaron para que este gran proyecto se concretara.

## **DEDICATORIA**

A mi hija Karina, que me enseña y motiva día a día con su gran ejemplo y amor.

A mis padres por la educación y principios que me dieron, por su gran apoyo y amor incondicional.

A mis hermanos Jéssica y Eduardo por su gran cariño y apoyo.

A Toutcha Lebgue por su acompañamiento y enseñanza.

A mis asesores en especial a Toutcha Lebgue Keleng, maestros, compañeros, amigos y administrativos que hicieron equipo conmigo y aportaron a que este gran proyecto de vida se llevara a cabo.

## CURRICULUM VITAE

El autor nació el 5 de Noviembre de 1968 en la Ciudad de México, D. F.

Enero 2003 – Diciembre 2004	Estudios de Maestría en Diseño Urbano Arquitectónico en la Universidad De La Salle Bajío. León, Gto.
Agosto 1988 – Diciembre 1992	Estudios de Licenciatura en Diseño Ambiental en la Universidad De La Salle Bajío. León, Gto.
Agosto 2014 - Actualmente	Docente en Licenciatura en Diseño Ambiental en la Universidad De La Salle Bajío. León, Gto.
Mayo 2017 - Actualmente	Docente en Maestría en Diseño Urbano en la Universidad De La Salle Bajío. León, Gto.
Febrero 2009 – Diciembre 2010	Docente en Instituto Superior de Arquitectura y Diseño (ISAD) Chihuahua, Chih.
Enero 2005 – Enero 2007	Coordinadora y docente en la Licenciatura en Diseño Ambiental en la Universidad De La Salle Bajío. León, Gto.

## RESUMEN

NICHO FUNDAMENTAL Y RANGO DE TOLERANCIA DE *CORYPHANTHA*  
*CHIHUAHUENSIS* (CACTACEAE), CHIHUAHUA, MÉXICO

POR:

M.D.U.A. IRMA KARINA IBARRA DÍAZ VELARDE

Doctorado in Philosophia

División de Posgrado e Investigación

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: D. Ph. Toutcha Lebgue Keleng

La familia *Cactaceae* se distingue por su morfología, anatomía y adaptabilidad en ambientes áridos. Siendo México su centro de diversificación, muchas de sus especies cuentan con descripciones biológicas; sin embargo, carece de información ecológica básica. Tal es el caso de *Coryphantha chihuahuensis*, reportada en matorrales del estado de Chihuahua. El objetivo de este estudio fue determinar el nicho fundamental de *C. chihuahuensis*, así como su rango de tolerancia biótico mediante la asociación vegetal y estimar su abundancia. Para ello, se georreferenciaron 20 sitios en campo con presencia de la especie. Para determinar su nicho fundamental, se utilizaron tres modelos con distintas combinaciones de variables (bioclimáticas, altitud, edafología, usos de suelo y

vegetación). El algoritmo utilizado fue MaxEnt (máxima entropía). El rango de tolerancia y abundancia fueron analizados en parcelas de 100 m<sup>2</sup>, tomando como ejes centrales los mismos 20 registros de *C. chihuahuensis*. Se realizó levantamiento de especies existentes (arbustos, hierbas, gramíneas y cactáceas) y se cuantificaron los ejemplares de *C. chihuahuensis*. Los resultados muestran el modelo del nicho fundamental al centro y sur del estado, con una probabilidad de ocurrencia del 70 al 100% al centro. Florísticamente, se obtuvieron un total de 25 familias, 51 géneros y 70 especies. La mayor probabilidad de presencia fueron las arbustivas con un 40%, seguidas por gramíneas 21%, herbáceas 20% y cactáceas 18%. La estimación de abundancia para *C. chihuahuensis* es de seis plantas por 100 m<sup>2</sup>.



## ABSTRACT

The Cactaceae family is distinguished by its morphology, anatomy and adaptability in arid environments. Being Mexico its center of diversification, many of its species have biological descriptions; however, it lacks basic ecological information. Such is the case of *Coryphantha chihuahuensis*, reported in shrublands of the state of Chihuahua. The objective of this study was to determine the fundamental niche of *C. chihuahuensis* as well as its biotic tolerance range through plant association and to estimate its abundance. For this, 20 sites were sampled in the field with presence of the species. In order to determine its fundamental niche, three models with different combinations of variables (bioclimatic, altitude, edaphology, land uses and vegetation) were used. The algorithm used was MaxEnt (maximum entropy). The range of tolerance and abundance were analyzed in plots of 100 m<sup>2</sup>, taking as central axes the same 20 records of *C. chihuahuensis*. Assessment of existing species (shrubs, herbaceous, grasses and cacti) was carried out and *C. chihuahuensis* were quantified. The results show the model of the fundamental niche to the center and south of the state, with a probability of occurrence of 70 to 100% to the center. Floristically, a total of 25 families, 51 genera and 70 species were obtained. The most likely presence was the 40% shrub, followed by 21% grass, 20% herbaceous

and 18% cacti. The abundance estimate for *C. chihuahuensis* is six plants per 100 m<sup>2</sup>.

## CONTENIDO

RESUMEN GENERAL.....	<b>vii</b>
GENERAL ABSTRACT.....	<b>ix</b>
LISTA DE CUADROS.....	<b>xii</b>
LISTA DE FIGURAS.....	<b>xiii</b>
LISTA DE ABREVIATURAS.....	<b>xiv</b>
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	<b>1</b>
REVISIÓN DE LITERATURA.....	<b>3</b>
La Familia <i>Cactaceae</i> .....	<b>3</b>
Funciones Ambientales de las Cactáceas.....	<b>4</b>
Conservación de la Biodiversidad y Estatus de las Cactáceas.....	<b>6</b>
Acciones para la Conservación de las Cactáceas.....	<b>8</b>
Género <i>Coryphantha</i> .....	<b>10</b>
<i>Coryphantha chihuahuensis</i> .....	<b>13</b>
MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES.....	<b>15</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	<b>17</b>
LITERATURA CITADA.....	<b>19</b>
ESTUDIO I. MODELO DE NICHOS FUNDAMENTAL PARA <i>Coryphantha chihuahuensis</i> (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO.....	<b>22</b>
RESUMEN.....	<b>22</b>
ABSTRACT.....	<b>24</b>
INTRODUCCIÓN.....	<b>25</b>
MATERIALES Y MÉTODOS.....	<b>28</b>
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	<b>37</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	<b>41</b>

LITERATURA CITADA.....	43
ESTUDIO II. RANGO DE TOLERANCIA Y ABUNDANCIA DE <i>Coryphantha chihuahuensis</i> (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO.....	45
RESUMEN.....	45
ABSTRACT.....	47
INTRODUCCIÓN.....	48
REVISIÓN DE LITERATURA.....	51
Tipos de vegetación en Chihuahua.....	51
Matorral desértico o xerófilo.....	51
Matorral desértico micrófilo y rosetófilo.....	52
Hábitat de <i>Coryphantha chihuahuensis</i> .....	53
MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
Análisis estadístico.....	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
CONCLUSIONES.....	71
LITERATURA CITADA.....	72

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
	ESTUDIO I. MODELO DE NICHOS FUNDAMENTAL PARA <i>Coryphantha chihuahuensis</i> (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO	
1	Variables bioclimáticas.....	33
2	Puntos de presencia de <i>Coryphantha chihuahuensis</i> . Estudio de campo (julio y agosto del 2013).....	35
3	Probabilidad de presencia de <i>Coryphantha chihuahuensis</i> en el estado de Chihuahua, bajo tres modelos de nicho fundamental).....	39
	ESTUDIO II. RANGO DE TOLERANCIA Y ABUNDANCIA DE <i>Coryphantha chihuahuensis</i> (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO	
1	Sitios de muestreo, punto central de cada parcela .....	57
2	Clasificación de parcelas por su ubicación .....	59
3	Formas de vida encontradas en parcelas, número de especies, cantidad de registros y probabilidad de presencia.	62
4	Arbustos. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia.....	63
5	Herbáceas. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia.....	64
6	Gramíneas. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia.....	65
7	Cactáceas. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia .....	66
8	Población de <i>Coryphantha chihuahuensis</i> por sitio y su estima poblacional.....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
	<b>ESTUDIO I. MODELO DE NICHOS FUNDAMENTAL PARA <i>Coryphantha chihuahuensis</i> (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO</b>	
1	Ubicación de la zona de estudio y puntos de presencia de <i>Coryphantha chihuahuensis</i> en el estado y municipios de Chihuahua.....	<b>30</b>
2	Presencia y ausencia de <i>Coryphantha chihuahuensis</i> en el estado de Chihuahua y sus municipios.....	<b>31</b>
3	Modelos de nicho fundamental de <i>Coryphantha chihuahuensis</i> en el estado de Chihuahua. Probabilidad de ocurrencia de la especie por rangos donde 100% es máxima presencia y 0% ausencia.....	<b>38</b>
	<b>ESTUDIO II. RANGO DE TOLERANCIA Y ABUNDANCIA DE <i>Coryphantha chihuahuensis</i> (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO</b>	
1	<i>Coryphantha chihuahuensis</i> en sitios de muestreo. Foto por I.K. Ibarra.....	<b>54</b>
2	Ubicación de la zona de estudio y 20 parcelas.....	<b>56</b>
3	Modelo de parcela 10 X 10 m.....	<b>58</b>

## LISTA DE ABREVIACIONES

Abreviación	Unidad
°C	Grados centígrados
ha	Hectárea
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Los ecosistemas se caracterizan por su tipo de biodiversidad, la cual se vincula con la cultura y costumbres, economía y prosperidad de una región. La diversidad de especies vegetales ayuda a la conservación y riqueza de los ambientes naturales, evitando así su deterioro. Los ecosistemas generan productos y servicios ambientales necesarios para el desarrollo social, económico y ambiental de una localidad, región o nación; lo cual concuerda con Bovarnick *et al.* (2010) al afirmar que servicios ambientales impactan en el bienestar de la humanidad.

En México, más del 70% de su territorio corresponde a zonas áridas y semiáridas, muchas de ellas perturbadas y fragmentadas (Valenzuela *et al.*, 2015). Estos mismos autores hacen referencia a la poca documentación de estos ecosistemas y sobre todo de la diversidad que en ellos alberga.

Dentro de la diversidad de las especies vegetales propias de esas regiones, sobresale la familia *Cactaceae*, familia considerada endémica del Continente Americano (Hernández & Godínez, 1994; Miguel-Talonia, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2016; y Villanueva *et al.*, 2016), con su mayor riqueza poblacional en México (Hernández *et al.*, 2010; Prado *et al.*, 2010; Lebgue-Keleng *et al.*, 2014; y Miguel-Talonia, 2014).

Según Hernández & Godínez (1994) y Villanueva *et al.* (2016) los cactus son las especies más amenazadas y con un endemismo de hasta 80% en el territorio mexicano; muchos de los cuales se encuentran en el Desierto Chihuahuense considerado como una de las regiones con mayor riqueza genética de estas plantas (Hernández *et al.*, 2010; Prado *et al.*, 2010; y Lebgue-Keleng *et al.*, 2014).

*Coryphantha chihuahuensis*, una de las especies dentro de la familia, es endémica del Desierto Chihuahuense en el estado de Chihuahua (Estrada-Castillo & Villarreal-Quintanilla, 2010; y Lebgue & Quintana, 2013); habita y se distribuye sobre lomeríos rocosos en forma de manchones en matorrales desérticos, en rangos altitudinales que fluctúan desde 1200 hasta 1700 msnm (Lebgue & Quintana, 2013). El objetivo de este estudio fue determinar el nicho fundamental y delimitar el rango de tolerancia biótico de *C. chihuahuensis*. Esto será de interés para especialistas en biología, científicos o tecnólogos que requieran saber sobre la ubicación taxonómica vegetal específica.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### La Familia *Cactaceae*

La familia *Cactaceae* nativa del Continente Americano (Hernández & Godínez, 1994; Miguel-Talonia, 2014; Villanueva *et al.*, 2016; y Lara-Juárez *et al.*, 2016), genera admiración por su morfología, consecuencia de la capacidad y habilidad de soportar prolongadas épocas de sequía y largas horas de radiación solar. Son características de zonas áridas y semiáridas, no obstante su nivel de adaptación ha logrado que se establezcan con otros tipos de vegetación como: matorrales de dunas, bosques tropicales caducifolios y bosques templados principalmente (Teixeira *et al.*, 2004; y Miguel-Talonia, 2014). También, se tienen registros de especies desde el norte de Canadá en Peace River hasta la Patagonia en Argentina, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta 5,100 msnm en Perú. Su extensión se debe a que algunas especies, en menor proporción, crecen en ambientes subtropicales y tropicales húmedos, en estos últimos se encuentran como epífitas (Bravo & Scheinvar, 1995). Las condiciones extremas de los ecosistemas áridos, originan una estrecha relación entre los distintos grupos. Al grado que si alguno de ellos llega a desaparecer, puede ocasionar la pérdida de otros grupos y generar cambios importantes en los ecosistema (Martínez *et al.*, 2009).

Las especies de la familia *Cactaceae* muestran variedad en cuanto a sus distintos tamaños y formas. Algunas son de tamaños sobresalientes como los *Carnegiea gigantea*, mientras otros se caracterizan por tallas pequeñas como algunas especies de *Mammillarias* pero no por ello menos importantes; todas contribuyen a la riqueza florística y paisajística de zonas áridas y semiáridas (Miguel-Talonia,

2014). En el ámbito paisajístico, juegan un papel importante, como ejemplo el género *Opuntia*, por su extensión y variedad, llega a dominar paisajes, mismos que se conoce como nopalera (Mandujano *et al.*, 2002).

El número total de especies de esta familia es todavía inexacto pero algunos autores como Hernández *et al.* (2004) y Becerra (2000) determinaron alrededor de 100 géneros y 1,500 especies; Jiménez (2011) habló de alrededor de 2000 especies; o como Nyffeler & Egli (2010) quienes consideraron 130 géneros y 1850 especies. Estudios como los efectuados por Hernández *et al.* (2004, 2010) y Prado *et al.* (2010) reconocieron que México cuenta con la mayor concentración de cactáceas. Mencionaron que el 60% del territorio está cubierto por zonas áridas y semiáridas. Así mismo, Hernández *et al.* (2004) indicaron que en México existen alrededor de 50 géneros y 550 especies. Mientras Becerra (2000) expuso que el país alberga 52 géneros y 850 especies. Hernández & Godínez (1994) determinaron 48 géneros y 563 especies y subrayaron que el 31.3% de los géneros son endémicos del país y el 41.7% son casi endémicos; esto se refiere a que las especies además de estar en el territorio mexicano se extienden al suroeste de Estados Unidos. Por ejemplo, los géneros *Ariocarpus*, *Enchinocactus*, entre otros. Por otro lado Jiménez (2011) mencionó que de las 913 taxones que alberga México, 518 especies y 206 sub especies son endémicas, lo equivalente a 80% de cactáceas del país.

### **Funciones Ambientales de las Cactáceas**

Dentro de las funciones ambientales de las cactáceas, la creación de energía a través de la radiación solar es una de las principales, así como su transmisión a

la cadena trófica. Esto al ser organismos fotosintéticos, además de elaborar compuestos de carbono por medio de su metabolismo CAM. Este permite que la planta respire durante la noche para que evaporen la mínima cantidad de agua, como también se activa el proceso de captura de CO<sub>2</sub>, liberación de oxígeno y vapor de agua (Martínez *et al.*, 2009).

Los cactus también contribuyen con el ecosistema mediante la composición de sus cenizas, estas son variables a veces hasta entre los mismos taxones. Sus componentes principales son calcio y potasio, en pequeñas cantidades magnesio, sílice, sodio, fierro, aluminio y manganeso. Estos en combinación con la composición química del suelo como es, la acidez, salinidad o conductividad, alteran el grado de ionización, humedad y textura.

A su vez, las cactáceas ofrecen alimento, refugio y hábitat a distintos organismos, tales como aves e insectos, roedores y mamíferos. Al ser plantas almacenadores de agua, producen frutos y en ocasiones tallos jugosos utilizados para la alimentación. Segregan néctares y a veces aceites esenciales aromáticos a través de las flores que contienen glándulas nectaríferas, algunas plantas también tienen glándulas extra-florales. Así mismo, las areolas cuentan con estas glándulas; algunas veces el néctar exudado se cristaliza cubriendo todo el fruto con una capa de azúcares (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1978).

Por otro lado, las cactáceas han sido utilizadas desde la época prehispánica y han jugado un papel importante en el desarrollo de los pueblos indígenas. Eran utilizadas como alimento, remediadora de curas o enfermedades, con fines religiosos y políticos. Las cactáceas son emblemáticas para México, ejemplo de ello el escudo de la bandera nacional, donde un águila posa en una especie de

*Opuntia*. El aprovechamiento de esta familia se ha transmitido por generaciones. Hoy en día, el 6% del total de los frutos consumidos en México son tunas reinas y el consumo de “nopales” o “nopalitos” del género *Opuntia* con más de 120 especies (Mandujano *et al.*, 2002).

### **Conservación de la Biodiversidad y Estatus de las Cactáceas**

El éxito de conservar la biodiversidad se basa en conocer la diversidad de especies y cómo conservarlas (Hernández & Godínez, 1994). Entre las acciones encontradas a favor de la protección y conservación de la biodiversidad en México, se creó en 1992 la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) siendo una comisión intersecretarial que brinda datos, información y asesoría. Coordina para México las redes de información nacionales y mundiales sobre biodiversidad; así como supervisa el cumplimiento a los compromisos internacionales en materia de biodiversidad correspondientes al país, además de llevar a cabo acciones orientadas a la conservación y uso sustentable de la biodiversidad mexicana (CONABIO, 2012). En el 2000, se crea la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), iniciada por asociación civil y ciudadanos preocupados por la protección del medio ambiente. Mismos que logran en este año que la comisión tome el régimen de protección federal a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Díez años después de su consolidación, se han rescatado 174 áreas naturales protegidas (ANP) y se suman 216 predios certificados de voluntarios, ejidales, comuneros o pequeños propietarios. Además de la conservación y protección del medio natural, se establecen acciones educativas mediante

señalamientos informativos y documentos, que generan información y conocimiento a los pobladores (Carabias *et al.*, 2010).

Otras acciones de conservación y protección para las especies es la Norma Oficial Mexicana la NOM-059-ECOL-2001, que enlista 260 taxones con estatus. Como también la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) con listado de especies en peligro de extinción o vulnerables; en las primeras dos, las cactáceas se encuentran en el primer lugar (Mandujano *et al.*, 2002).

Una de sus mayores amenazas y agresiones que reciben las cactáceas, es el cambios de uso de suelo, tales como: agricultura y ganadería, el crecimiento urbano, construcción de industria, carreteras y caminos, cableado de líneas eléctricas y telefónicas, bancos de material y la construcción de presas, por nombrar algunos (Mandujano *et al.*, 2002). No obstante la peor depredación y abuso que han sufrido, es la colecta ilegal de ejemplares para el comercio nacional e internacional, sobretodo europeo. Todavía a mediados del siglo pasado, las especies silvestres abundaban. Pero después de este saqueo, el gobierno de México decretó leyes que prohíben su exportación (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1978). Como mencionaron Mandujano *et al.* (2002), el interés por estas plantas se muestra con coleccionistas que pagan fuertes cantidades por un ejemplar. Los mismos autores subrayan que los principales productores y vendedores de cactáceas son japoneses y alemanes; inclusive estiman que si se llegaran a extinguir las cactáceas en México, ellos serían los principales

beneficiarios. Es así como los mismos autores expresaron la necesidad de programas de manejo y conservación de cactáceas.

### **Acciones para la Conservación de las Cactáceas**

La investigación sobre cactáceas es interés de científicos y biólogos, principalmente. Existen libros y revistas en distintas partes del mundo, tales como *The Cactus and Succulent Journal* de Estados Unidos; *The Journal of the Mammillaria Society* de la Gran Bretaña; *Kakteen und andere Succulenten* de Alemania, entre otros países. En México se fundó en 1952 la Sociedad Mexicana de Cactología, donde se edita la revista científica periódica llamada Cactáceas y Suculentas Mexicanas (Bravo & Scheinvar, 1995). En 1984 comienza una nueva clasificación para las cactáceas, estimulado por la Organización Internacional sobre el Estudio de Plantas Suculentas (IOS por sus siglas en inglés) y los comités de Barthlott y Hunt con trabajos como “La Familia y Géneros de Plantas Vasculares y la Flora de Jardines Europeos”, propusieron una sección dentro de IOS para las cactáceas, donde se realicen estudio de genética que refuercen la clasificación de la familia. Ese mismo año se formó el Grupo Internacional Sistemático de Cactáceas que más tarde formó el Jardín Botánico Royal (Anderson, 2001). A lo que menciona el mismo autor la importancia que tanto la taxonomía como la nomenclatura sean de estándares internacionales que puedan unificar la investigación. Existen también organizaciones no gubernamentales como La Organización Internacional para el Estudio de las Plantas Suculentas (IOS), que promueve el estudio y la conservación de las plantas suculentas y relacionadas. Y que está afiliada a la Unión Internacional de Ciencias Biológicas (UIBS), organizaciones de conservación como *Botanic*

*Gardens Conservation International* (BGCI) y con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), quien tiene contactos con algunos jardines botánicos (IOS, 2013).

En México, los jardines botánicos datan de mediados del siglo pasado. Es así como se funda la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, AC, en 1983, siendo ésta una organización que agrupa y apoya 51 jardines botánicos en el país. Genera una red científica que se dedica a la investigación, educación y conservación de la diversidad vegetal mexicana (Lira, 2011). Entre estos jardines sobresalen por su colección de cactáceas, el Jardín Botánico y Reserva Natural El Charco del Ingenio de San Miguel de Allende, Gto. y el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM.

En el estado de Chihuahua, fuera de las leyes y reglamentos, planes y programas de protección al medio ambiente, se podría decir que casi son nulas las acciones para la conservación de las cactáceas. Lo existente al momento son documentos informativos, como el libro *Cactáceas de Chihuahua* de Lebgue & Quintana (2013), donde hacen una clara descripción de las especies encontradas en el estado.

Como alternativas para mejorar la viabilidad de las especies, el Instituto Nacional de Ecología (INECC) (2007) mencionó que las acciones de conservación deben partir de principios de manejo y financiamiento. Debe de haber trabajos conjuntos entre las instituciones y organizaciones tanto privadas como públicas. Crear mecanismos tanto de financiamiento, transferencias tecnológicas-científicas como de capacitación. A lo que agregaron que el manejo de las especies con o sin estatus, se puede realizar tanto en cautiverio como en su mismo hábitat.

Aunque para las especies en riesgo con fines de conservación, rescate y preservación, los cuidados deberán estar estipulados por Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de Vida Silvestre (UMA) o por el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP).

El INECC (2007) enlista proyectos de recuperación como soluciones a la conservación y protección de los cactus, como son: elementos para los proyectos de recuperación; crear el Comité Consultivo Técnico que integre a expertos en cactus; aplicar recursos para diversos programas a través de la formación del Fideicomiso Nacional para la Vida Silvestre; elaborar diagnósticos actuales sobre el estado de los cactus y sus posibilidades de conservación y aprovechamiento; fomentar la instalación de UMA en algunos estados; además de realizar estudios poblacionales y planes de manejo para el aprovechamiento bajo el esquema de UMA. Así como el impulsar acuerdos con las delegaciones de SEMARNAP y PROFEPA para el control del aprovechamiento de ejemplares provenientes del medio natural.

### **Género *Coryphantha***

*Coryphantha* es el tercer género con mayor diversidad de la familia *Cactaceae*, después de los géneros *Opuntia* y *Mammillaria*, con más de 60 especies (Lebgue & Quintana, 2013). Ditch & Lüthy (2005) expusieron que 43 de las especies se distribuyen en zonas desérticas sobre lomeríos mexicanos, extendidos entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental y sobre la Sierra Madre del Sur. Seis especies más se localizan, también en zonas áridas, en torno al Río Grande al sur de Estados Unidos en los estados de Texas, Nuevo México y Arizona. Su nombre *Coryphantha* se origina de la palabra griega *koryphe*=en el



ápice y *anthos*=flores, lo que significa flores en el ápice (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991b; y Ditch & Lüthy, 2005). Su primer registro lo reporta Englemann en 1859, quien lo clasificó como un subgénero de *Mammillaria*, con la taxón *Mammillaria calcarata* o *Coryphantha sulcata* Englemann (Britton & Rose, 1923; y Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991b). En 1868, Lemaire lo separó y lo determinó género y publicó 25 nombres de especies mexicanas. Sin embargo esto no duró más de 27 años, y solo se respetaron ocho especies, el resto fueron sinónimos. Cuando Engelman y Lemaire categorizaron *Coryphantha* no mencionaron ninguna especie tipo (Ditch & Lüthy, 2005). Por lo que Britton y Rose respetaron la independencia del género, pero lo reclasificaron como *Escobaria*, en honor a los hermanos Escobar de Ciudad Juárez, promotores de la enseñanza agrónoma. Hunt amplió el género *Escobaria* al integrar el género *Neobesseya* (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991a). Al ver esta diversidad Ditch & Lüthy (2005) analizaron el género *Coryphantha* en cuanto a la nomenclatura y la descripción de su monografía. Llegaron a recabar 300 distintos taxones, muchas se encontraban repetidos o mal clasificados, reduciendo así a 43 especies y 11 subespecies.

Las especies de *Coryphantha* son plantas solitarias a cespitosas con grupos conglomerados de hasta 20 individuos y diámetros de hasta 50 cm. El tallo de la planta puede ser globoso, semigloboso, ovoide, cilíndrico o columnar, con alturas que van desde los 4.5 a 30 cm. La raíz puede ser fibrosa, pivotante, tuberosa o carnosa. La superficie de la *Coryphantha* spp. está cubierta por tubérculos, que a vista de pájaro se observan espirales en sentido de las manecillas del reloj u opuesto que nacen del ápice de la planta; los tubérculos tienen longitudes de

entre 7.5 mm y 30 mm; la axila de los tubérculos apunta hacia el centro de la planta. Los tubérculos tienen una ranura por la parte superior, en su ápice se ubica la areola espinífera; la ranura corre hasta la mitad del tubérculo o cerca de la axila, lugar donde se ubica la areola floral; las areolas son ovoides a circulares. Cuentan también con glándulas que producen néctar; en el subgénero *Neocoryphantha* son glándulas extra-florales y el subgénero *Coryphantha* las tiene en las areolas espiníferas y aparecen durante la floración. Las espinas generalmente se ubican en cuatro niveles: espina central, espinas subcentrales, primer nivel radial y segundo nivel radial. Las espinas centrales tienen mayor longitud que radiales además de ser más gruesas; en plantas jóvenes son incoloras mientras que en las adultas toman tonos rojos a cafés que tienden a oscurecerse en su parte superior. Las flores tienen la misma anatomía, a excepción del tamaño y coloración, estos últimos son amarillo limón, rosado o púrpureo; estas nacen en los tubérculos jóvenes cercanos al ápice, en plantas mayores de 8 años; floración diurna de mayo a agosto. Los frutos desnudo o con una o dos escamas, son verdes a un tinte de rojo. Las semillas de *Coryphantha* spp. son generalmente reniformes; varían su tamaño entre especies, son más largas que anchas a excepción de la semilla de *C. gracilis* con una forma redonda como sombrero o casco. El color de la semilla va de café a negro y en algunos casos rojizos, dependiendo de la madurez del fruto; son brillantes y lisas, los bordes de la testa exterior son gruesos y abultados. Algunas de las especies contienen glándulas que producen savia con néctar color amarilla, naranja o roja; estas se ubican en las ranuras, en la axila o en las areolas florales (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991b; y Dicit & Lüthy, 2005).

El tipo de reproducción es sexual (por semilla) y asexual (reproducción vegetativa), esta última por sus características cespitosas, por medio de brotes de plantas adultas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991b; Ditch & Lüthy, 2005; y Lebgue & Quintana, 2013).

### ***Coryphantha chihuahuensis***

La distribución de *C. chihuahuensis* es limitada; fue colectada por Palmer en montañas a 20 km en torno a la ciudad de Chihuahua, Chih. (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991b; y Anderson, 2001). Así como estudios de campo como los realizados por Lebgue & Quintana (2013) donde reportaron a la especie en los alrededores de la ciudad de Chihuahua y municipios adyacentes (Delicias y Rosales).

La especie se desarrolla en un hábitat con tipo de vegetación de Matorral Desértico Micrófilo (MDM) y Matorral Desértico Rosetófilo (MDR). Es asociada con vegetación de climas áridos constituidas por plantas suculentas y áfilas. Se desarrolla sobre elevaciones de 1,200 a 1,700 msnm (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991b; y Lebgue & Quintana, 2013). El clima es el BSohw(w), clima muy seco semicálido con invierno fresco, temperatura media anual entre 18 – 22 °C, con lluvias de verano y régimen de lluvias de invierno menor a 5 % anuales. La precipitación media anual es de 427.2 mm. Los tipos de suelos son xerosoles háplicos, regosol éutrico, ferozem háplico (IMPLAN, 2013).

Su morfología consta de tallos cilíndricos de siete a nueve centímetros de altura y de cuatro a cinco centímetros de diámetro, de color verde claro amarillento. Su tallo está cubierto por tubérculos cónicos de un centímetro de largo con una ranura que va de la aréola hasta la axila; doble areola e inflorescencia en el ápice

característico de su género. Flor de color rosa y frutos en varias con semillas (se desconoce número aproximado). Estas son reniformes de color castaño brillante, más largas que anchas, de 13 mm de longitud (Bravo-Hollis & Sánchez- Mejorada 1991a; Bravo-Hollis & Sánchez- Mejorada 1991a; Anderson, 2001; y Ditch & Lüthy, 2005).

Por otro lado las similitudes entre el género *Coryphantha* y *Escobaria* han sido muy cuestionados, se dice que la diferencia consiste en las glándulas florales que producen néctar (Anderson, 2001; Ditch & Lüthy, 2005; y Bravo-Hollis & Sánchez- Mejorada, 1991b). A lo que Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada (1978) mencionaron que dentro del género *Coryphantha* no todas las especies poseen dichas glándulas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991b; y Anderson, 2001). Por otro lado Ditch & Lüthy (2005) expusieron que la diferencia entre los dos géneros radica en que *Escobaria* reduce la producción de glándulas nectarinas. Agregando los mismos autores que *Coryphantha chihuahuensis* es una de las especies de transición entre los dos géneros.

## MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

El trabajo de campo se realizó en los meses de julio y agosto del 2013, y constó en ubicar y georreferenciar ejemplares de *Coryphantha chihuahuensis*. Se utilizó la carta de INEGI de tipo de vegetación y uso de suelo para el estado de Chihuahua escala 1:250.000, sobre el cual se planearon los recorridos. El punto de referencia fue la Ciudad de Chihuahua ubicada en latitud norte 28° 38' 07" y longitud oeste -106° 05' 20". Se tomó en cuenta los tipos de vegetación en los que habita la especie (MDM y MDR), de ahí se marcaron como ejes las carreteras Chihuahua – Ojinaga, Chihuahua – Parral, Chihuahua – Camargo y Chihuahua – Cd. Juárez. Sobre estos ejes se recorrieron caminos vecinales, brechas o sin camino señalado. Por observación se detectaron cerros o colinas rocosas. Mismos que fueron examinados para determinar ausencia y presencia de la especie. Estos puntos se georreferenciaron (longitud, latitud y altitud). Como mínimo entre puntos había una distancia de 30 a 50 kilómetros. En algunas ocasiones el trayecto era mayor ya que no se observaron las características buscadas. La meta eran 20 sitios con presencia de la especie, el mínimo registro requerido para el modelo (Phillips *et al.*, 2006).

En el primer estudio se determinó el Nicho Fundamental de la especie. Esto en busca de la distribución probable de la especie. Para el cual se utilizó el programa computacional MaxEnt (Máxima entropía), uno de los más recomendados para modelo de nichos (Phillips *et al.*, 2006; Contreras-Medina *et al.*, 2010; Ibarra-Montoya *et al.*, 2012; y Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). El programa se alimentó con los 20 puntos georreferenciados con presencia de la especie, variables bioclimáticas, altitud, edafología, usos de suelo y vegetación.

Para determinar el rango de tolerancia biótico y la abundancia de *C. chihuahuensis*, se utilizaron parcelas de 10 X 10 m. Estas se ubican sobre los 20 puntos con presencia de la especie descritos anteriormente. Se utilizaron estadísticas descriptivas y de probabilidad.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tres modelos muestran que la probabilidad de distribución de *Coryphantha chihuahuensis* se extiende del centro del estado de Chihuahua en forma radial y se incrementa al sur del mismo, con algunas zonas aisladas al noreste y sureste del estado. Para estimar el nicho fundamental de *C. chihuahuensis*, los tres modelos tuvieron comportamientos similares y una validación a uno. El modelo obtenido para determinar el nicho fundamental para *C. chihuahuensis* en el estado de Chihuahua es puntual, ya que muestra las áreas probables y adecuadas para la especie. No obstante, una de las principales amenazas para esta especie podría ser su cercanía a los desarrollos urbanos.

El rango de tolerancia biótico para *C. chihuahuensis* es matorral, principalmente MDM y en menor proporción MDR. Las especies con las que presentó mayor asociación vegetal fueron *Aloysia wrightii* y *Tecoma stans*, especies que por sus características físicas corresponden al MDM, pero también son identificadas dentro del MDR. La abundancia de *C. chihuahuensis* podría llegar a ser mayor a seis plantas/100 m<sup>2</sup>, debido a que cuenta con las condiciones bióticas y abióticas requeridas por la especie, no obstante es probable que agentes externos intervengan y causen esta desigualdad poblacional.

Se recomienda ampliar los estudios sobre la diversidad en zonas áridas y semiáridas, así como difundir su importancia y fragilidad. Es importante difundir la información para que se valore y aproveche el endemismo de esta especie, como una planta emblemática de la región. Los estudios realizados en esta investigación son una parte importante para el conocimiento de *C. chihuahuensis*. No obstante falta determinar su estatus ante la norma mexicana de protección a

la biodiversidad y realizar más investigación que indique el estado de conservación de la especie.



## LITERATURA CITADA

- Anderson, E. 2001. The Cactus Family. Timber Press. Estados Unidos.
- Becerra, R. 2000. Las cactáceas, plantas amenazadas por su belleza. CONABIO. Biodiversitas. 32:1-5.
- Bovarnick, A., F. Alpizar & C. Schnell. 2010. Editores. La importancia de la biodiversidad y de los ecosistemas para el crecimiento económico y la equidad en América Latina y el Caribe: Una valoración económica de los ecosistemas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1978. Las cactáceas de México vol. I. 1era. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991a. Las cactáceas de México vol. II. 1era. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991b. Las cactáceas de México vol. III. 1era. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Bravo, H. y L. Scheinvar. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. Fondo de la Cultura Económica de México. México.
- Carabias, J., J. Sarukhán, J. De la Maza y C. Galindo. 2010. Patrimonio natural de México cien años de éxito. CONABIO. México.
- CONABIO. 2012. Quienes somos. CONABIO. [http://www.conabio.gob.mx/web/conocenos/quienes\\_somos.html](http://www.conabio.gob.mx/web/conocenos/quienes_somos.html) Consultado Dic. 07, 2013.
- CONABIO. 2013. Matorral Xerófilo Micrófilo. <http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC15.pdf> Consultado Dic. 14, 2013.
- Contreras-Medina R., Luna-Vega I. & Ríos-Muñoz C. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nichos, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. Rev. Chil. Hist. Nat. 83:421-433.
- Ditch. R., y A. Lüthy. 2005. Coryphantha Cacti of México and Southern USA. Springer. Alemania.
- Estrada-Castillo, E. & J.A. Villarreal- Quintanilla. 2010. Flora del centro del estado de Chihuahua, México. Acta Bot. Mex. 92:51-118.
- Hernández, H., & H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Bot. Mex. 26:33-52.
- Hernández, H., C. Gómez-Hinojosa, & B. Goettsch. 2004. Checklist of Chihuahua desert Cactaceae. Harv. Pap. Bot. 9:51-68.

- Hernández, H., C. Gómez-Hinojosa & G. Hoffman. 2010. ¿Es la rareza geográfica frecuente entre las cactáceas del Desierto Chihuahuense? *Rev. Mex de Biodivers.* 81:183-175.
- Ibarra-Montoya J., Rangel-Peraza G., González-Farías F., Anda J., Martínez-Meyer E. & Macías-Cuellar H. 2012. Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp. (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Ambiente & Agua.* 7(1): 218-234.
- IMPLAN. 2013. Plan de desarrollo urbano 2040. Instituto Municipal de Planeación Chihuahua. <http://www.implanchihuahua.gob.mx/PDU2040/> Consultado Dic. 10, 2013.
- INECC. 2007. Conservación y recuperación de especies prioritarias. SEMARNAT. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/279/cap41.html#top> Consultado Dic. 08, 2013.
- IOS. 2013. Introducción. [http://iosweb.org/index\\_es.php](http://iosweb.org/index_es.php) Consultado Nov. 10, 2013.
- Jiménez, S. C. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*, 12(1), 1-xx – 23-xx. <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num1/art04/index.html> Consultado Sep. 10, 2013.
- Lara-Juárez, E.I., J. Treviño-Carreón, B. Estrada-Drouaillet, W.A. Poot-Poot, V. Vargas-Tristán & C. Ballesteros-Barrera. 2016. Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Agroecosistemas.* 3(2):184–194.
- Lebgue-Keleng, T., Y. Aviña-Domínguez, R. Soto-Cruz, M. Quiñonez-Martínez, L. Cortes-Palacios, A. Melgoza-Castillo, C. Morales-Nieto, C. Vélez-Sánchez-Verin & S. Balderrama-Castañeda. 2014. Soil mineralogy and its relationship with cacti species in southeastern Chihuahua, México. *Ecol. Apl.* 13:205-209.
- Lebgue & Quintana. 2013. *Cactáceas de Chihuahua*. 2a ed. Proveedor Integracional y Servicios Ambientales, Gustavo Quintana Martínez, Instituto Chihuahuense de la Cultura. Chihuahua, México.
- Lira, C. 2011. Los jardines botánicos de México. 2011. La jornada ecológica. UNAM. <http://www.jornada.unam.mx/2011/05/30/eco-cara.html> Consultado: Dic. 08, 2013.
- Mandujano, M., J. Golubov y J. Reyes. 2002. Lo que usted siempre quiso saber sobre las cactáceas y nunca se atrevió a preguntar. *Biodiversitas.* 40:2-7.

- Martínez, M., R. Garibay y I. Suazo. 2009. Grupos funcionales. Capital Natural de México Vol.II. CONABIO. México.
- Miguel-Talonia, C., O. Téllez-Valdés & M. Murguía-Romero. 2014. Las cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: estimación de la calidad del muestreo. *Rev. Mex de Biodivers.* 85: 436-444.
- Nyffeler, R., & U. Eggli. (2010). A farewell to dated ideas and concepts-molecular phylogenetics and a revised suprageneric classification of the family Cactaceae. *Shumanna*, 6:109-149.
- Phillips S., Anderson R. & Eschaurer R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190:231-259.
- Pliscoff P. & Fuentes-Castillo T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Geografía Norte Grande.* 48:61-79.
- Prado, A., J. Hawkins, C. Yesson, & R. T. Bárcenas. 2010. Multiple diversity measures to identify complementary conservation areas for Baja California peninsular cacti. *Biol. Conserv.* 143:1510-1520.
- Teixeira, V., V. Castro, A. Ceroni y R. Eyzaguirre. 2004. Diversidad y densidad de la comunidad de cactáceas en el cerro Umarcata y Quebrada Orobel en el Valle del Río Chillón (Lima) y su relación con los factores edáficos. *Ecol. Apl.* 3:1-8
- Valenzuela, L.M., J.C. Ríos, K.R. Barrientos, G. Muro, J. Sánchez & E.A. Briceño. 2015. Estructura y composición florística en dos comunidades de Mezquite (*Prosopis laevigata* (HUMB. & BONPL. EX WILLD.) M.C. JOHNST.) En Durango, México. *Interciencia.* 40(7):465–472.
- Villanueva, R.M., M.C. Navarro, & H.R. Eliosa. 2016. Germinación de tres especies de cactáceas endémicas de México en condiciones asépticas. *Zonas Árid.* 16: 1–16.

# **ESTUDIO I. MODELO DE NICHOS FUNDAMENTAL PARA *Coryphantha chihuahuensis* (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO**

POR:

Irma Ibarra-Díaz Velarde<sup>1</sup>, Toutcha Lebgue-Keleng<sup>1</sup>, Oscar Viramontes-Olivas<sup>2</sup>, Ignacio Reyes-Cortés<sup>3</sup>, Juan A. Ortega-Gutiérrez<sup>1</sup> y Carlos Morales-Nieto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>2</sup>Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

## **RESUMEN**

La familia *Cactaceae* se distingue por su morfología y anatomía. Que le permite soportar épocas prolongadas de sequías y alta radiación solar. Para algunas de estas especies se carece de información relacionada con su distribución, estatus y nicho fundamental. Es el caso de la cactácea *Coryphantha chihuahuensis*, reportada en el estado de Chihuahua y en el Desierto Chihuahuense en México. El objetivo de este trabajo fue determinar el nicho fundamental de *C. chihuahuensis* en el estado de Chihuahua. Con ello se muestran las áreas probables y adecuadas para el desarrollo de la especie. Se georreferenciaron en campo 20 sitios de presencia de la especie. Para determinar su nicho fundamental se utilizaron tres modelos con distintas combinaciones de variables (bioclimáticas, altitud, edafología, usos de suelo y vegetación). El algoritmo utilizado fue MaxEnt (máxima entropía). Los resultados indicaron que el modelo con menor error fue el que utilizó todas las variables, con un valor de efectividad de 99% y una desviación estándar de 0.001. El modelo muestra el nicho fundamental de la especie al centro y sur del estado, con una probabilidad de

ocurrencia del 70 al 100% al centro; mientras que los valores más bajos fueron al sur-centro y al noreste del estado con probabilidad de presencia del 30 al 50%. El modelo obtenido para determinar el nicho fundamental para *C. chihuahuense* es puntual, ya que muestra las áreas probables y adecuadas para la especie. Esto ayudará a la protección, conservación y recuperación de la misma.

**Palabras clave:** máxima entropía, ocurrencia, endémicas, georreferencia, variables bioclimáticas, nicho fundamental.

## ABSTRACT

The *Cactaceae* family is distinguished by its morphology and anatomy that allows it to withstand prolonged periods of drought and high solar radiation. For some of its species there is a lack of basic information regarding distribution, status and fundamental niche. This is the case of *Coryphantha chihuahuensis*, reported in the Chihuahua state in the Chihuahuan Desert region. The aim of this study was to determine the fundamental niche of *Coryphantha chihuahuensis* in the state of Chihuahua, displaying possible and suitable areas in which the species could develop. During fieldwork 20 georeferenced sites with species occurrence were recorded. The species fundamental niche was determined using three models with different combinations of variables (bioclimatic variables, altitude, soil, land use and vegetation). The algorithm used was MaxEnt (maximum entropy). The results indicate that the model with the lowest error was the model that contained all variables, with an effectiveness value of 99% and a standard deviation of 0.001. The model places the fundamental niche of the species in the center and south of the state, with a probability of occurrence of 70 to 100% at the center; while the lowest values were south-central and northeast of the state with the probability of presence of 30 to 50%. The obtained model used to determine the fundamental niche for *C. Chihuahua* is timely as it shows probable and appropriate areas for the species. This will help in the protection, conservation and recovery of the species.

**Key words:** maximum entropy, occurrence localities, endemic, georeference, environmental variables, fundamental niche.

## INTRODUCCIÓN

La familia *Cactaceae* es nativa del continente americano (Contreras-Medina *et al.*, 2010; Nyffeler & Egli, 2010; Lebgue-Keleng *et al.*, 2014). Por tener una morfología y anatomía que les permiten soportar épocas prolongadas de sequías y alta radiación solar, la mayoría de sus especies están adaptadas a regiones áridas y semiáridas. La familia está constituida por 110 a 122 géneros y entre 1,500 y 1,600 especies (Lebgue-Keleng *et al.*, 2011). Estudios efectuados por Hernández *et al.* (2010), Prado *et al.* (2010) y Lebgue-Keleng *et al.* (2014) reconocieron que México está identificado como el país con la mayor diversidad de cactáceas. El Desierto Chihuahuense es considerado una de las regiones de mayor diversidad de cactáceas, con 329 especies y 39 géneros; de estos taxones, 70% de las especies y 43% de los géneros fueron reportados como endémicos (Hernández *et al.*, 2010). Lebgue-Keleng *et al.* (2014) mencionaron que el estado de Chihuahua alberga el 16% de esta diversidad endémica.

*Coryphantha chihuahuensis* Lem., también identificada como *Escobaria chihuahuensis* Britton & Rose, es una especie poco estudiada. El Herbario del Jardín Botánico de Missouri (MO) y el Herbario Royal Botanic Garden (MEL) del Reino Unido realizaron una descripción de la especie y la ubicaron sólo en el estado de Chihuahua, México, en las colinas rocosas cercanas a la ciudad de Chihuahua. Asimismo, Estrada-Castillo & Villarreal-Quintanilla (2010) reportaron esta especie en el centro del estado de Chihuahua.

Los modelos de distribución geográfica son importantes para aplicaciones ecológicas y de conservación biológica (Phillips & Dudik, 2008; Ibarra-Montoya *et al.*, 2012). El propósito de estos modelos es predecir las condiciones

ambientales idóneas de las especies como una función de las variables ambientales (Phillips *et al.*, 2006). Los nichos ecológicos se basan en modelos que tienen la capacidad de proyectar patrones de distribución geográfica, mediante los registros puntuales de la especie en cuestión (Milesi & López de Casevave, 2005; Mercado & Wallace, 2010; Ibarra-Montoya *et al.*, 2012; Pérez-García & Liria, 2013). El nicho fundamental señala el rango multivariado de las tolerancias fisiológicas a variables climáticas principalmente, dentro del cual una especie tendrá tasas positivas de crecimiento. A ésta se le denomina distribución potencial (Mercado & Wallace, 2010; Soberón & Peterson, 2011).

En la actualidad existen programas computacionales para determinar el nicho fundamental de una especie (Phillips *et al.*, 2006; Mercado & Wallace, 2010; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Para la modelación de nichos, Contreras-Medina *et al.* (2010), Ibarra-Montoya *et al.* (2012) y Pliscoff & Fuentes-Castillo (2011) mencionaron que el programa MaxEnt (máxima entropía) (Phillips *et al.*, 2006), ha sido evaluado y probado por distintos investigadores, catalogándolo como uno de los mejores modeladores.

Considerando la importancia ecológica de las cactáceas y sus características biológicas (como bajas tasas de crecimiento y bajas probabilidades de establecimiento) que las hacen más vulnerables al disturbio, es necesario proteger las pocas poblaciones existentes y multiplicarlas para su restauración en zonas con potencial de expansión, aumentando la necesidad y el compromiso de conocer más sobre los factores que controlan la distribución y abundancia de *C. chihuahuensis* y otras especies de cactáceas.



Dada la información limitada de *C. chihuahuensis*, no se conocen aspectos precisos de su distribución geográfica y estatus ecológico. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar el nicho fundamental de *C. chihuahuensis* para generar información que pueda ser utilizada en el diseño de planos para la protección, conservación y recuperación de la especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Coryphantha chihuahuensis* es una especie colectada por primera vez por Palmer en el año 1908 en montañas a 20 km de la ciudad de Chihuahua, Chih. (Bravo-Hollis & Sanchez- Mejorada, 1991). Lebgue & Quintana (2013) mencionaron que la especie cuenta con una posible distribución restringida, y la ubican en los municipios de Chihuahua y Rosales, sugiriendo estudios que aporten información más precisa. *Coryphantha chihuahuensis* es una planta solitaria a cespitosa, con tallos cilíndricos de 7 a 9 cm de alto y de 4 a 5 cm de diámetro, con tubérculos. Inflorescencia en tubérculos superiores cerca del ápice en color rosa. La especie se desarrolla en un hábitat con tipo de vegetación de Matorral Xerófilo Micrófilo y Matorral Xerófilo Rosetófilo, en asociación con vegetación de climas áridos y semiáridos, con plantas suculentas y áfilas. Se localiza en elevaciones de 1,200 a 1,700 msnm (Bravo-Hollis y Sanchez-Mejorada, 1991; Lebgue & Quintana, 2013).

El trabajo de campo se realizó en los meses de julio y agosto del 2013 y consistió en localizar puntos de presencia – ausencia de *C. chihuahuensis*. Se registraron 56 puntos de muestreo, de los cuales solo en 20 se localizó la especie. Wisz *et al.* (2008) mencionaron que para una especie poco conocida, los modelos con tamaños de muestra por debajo de 30 puntos pueden producir resultados útiles. Los mismos autores expusieron, que para modelos exploratorios con tamaños de muestra entre 10 y 30 registros, MaxEnt es uno de los programas más adecuados. El estudio se realizó en las colinas rocosas de los municipios de Chihuahua, Aldama, Coyame del Sotol, Ojinaga, Aquiles Serdán, Rosales, Meoqui, Delicias, Satevó, Valle de Zaragoza, Hidalgo del Parral en el estado de

Chihuahua (Figura 1). La selección de estos municipios se basó en el estudio de Estrada-Castillo & Villarreal-Quintanilla (2010), quienes especificaron que la especie se localiza en la parte central del estado de Chihuahua. También, se tomó como referencia el tipo de vegetación de las cartas de INEGI de tipos de vegetación y uso de suelo para el estado de Chihuahua escala 1:250,000. Lo anterior se consideró para planear los recorridos de campo. El punto de referencia fue la ciudad de Chihuahua ubicada a una latitud norte de 28° 38' 07" y una longitud oeste de -106° 05' 20". Se tomaron como ejes las carreteras Chihuahua – Ojinaga, Chihuahua – Parral, Chihuahua – Camargo y Chihuahua – Cd. Juárez. Sobre estos ejes se recorrieron, caminos vecinales, brechas y veredas para detectar cerros y colinas rocosas. Estas áreas fueron examinadas para determinar ausencia o presencia de la especie y se georreferenciaron (longitud, latitud y altitud). Se estableció una distancia mínima de 30 a 50 km entre los puntos de observación; sin embargo, en algunas ocasiones el trayecto era mayor, ya que no se encontraron las características deseadas. Para corroborar la ubicación de cada punto georreferenciado se utilizó Google Earth versión 7.1.1.1888, recomendado por Potere (2008) y Pérez-García & Liria (2013) como una fuente de datos de alta resolución y precisión (Figura 2).

Para determinar el nicho fundamental de *Coryphantha chihuahuensis* se utilizó el programa MaxEnt 3.3.3, una aproximación estadística basada en un algoritmo de máxima entropía (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008), con la capacidad de predecir o inferir sobre información incompleta. Este programa genera proyecciones espaciales de distribución potencial de especies a partir de nueve datos de presencia, aunque lo recomendado son cercanos a 20 (Phillips *et al.*,

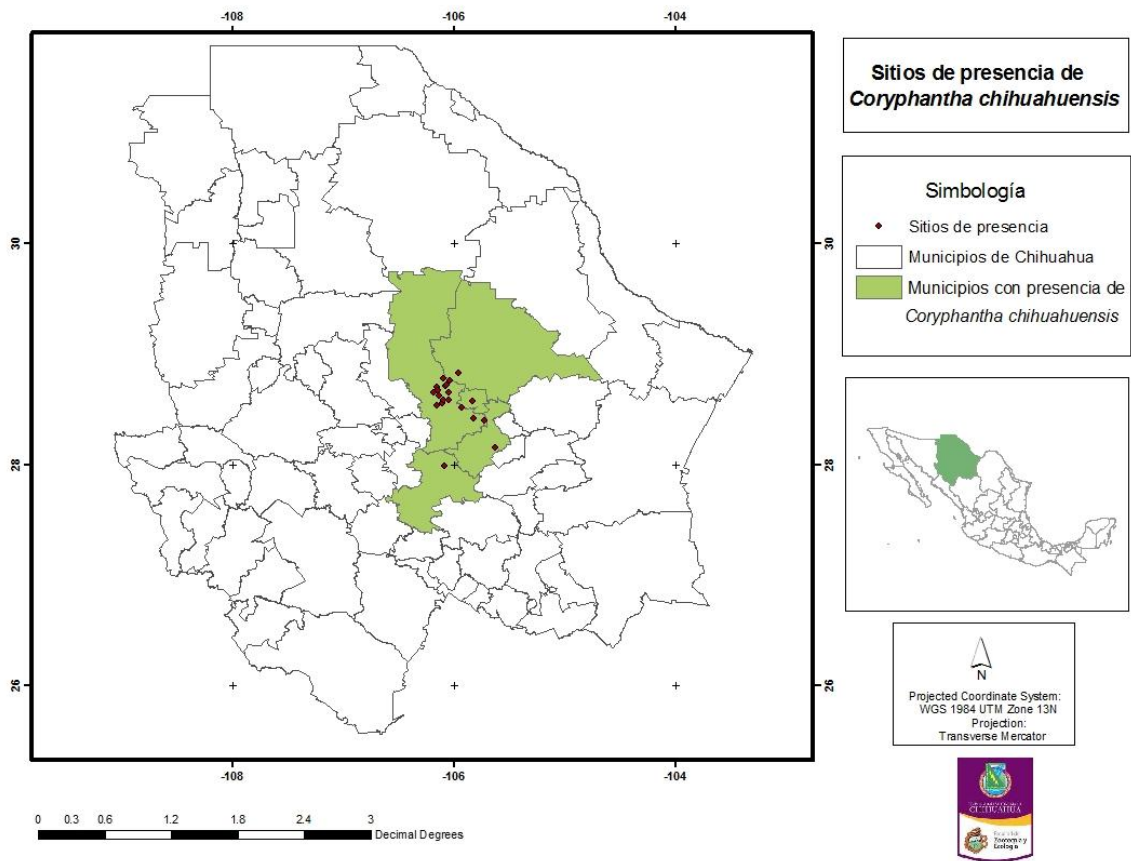


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y puntos de presencia de *Coryphantha chihuahuensis* en el estado y municipios de Chihuahua

Presencias y ausencias *Coryphantha chihuahuensis* en el Estado de Chihuahua

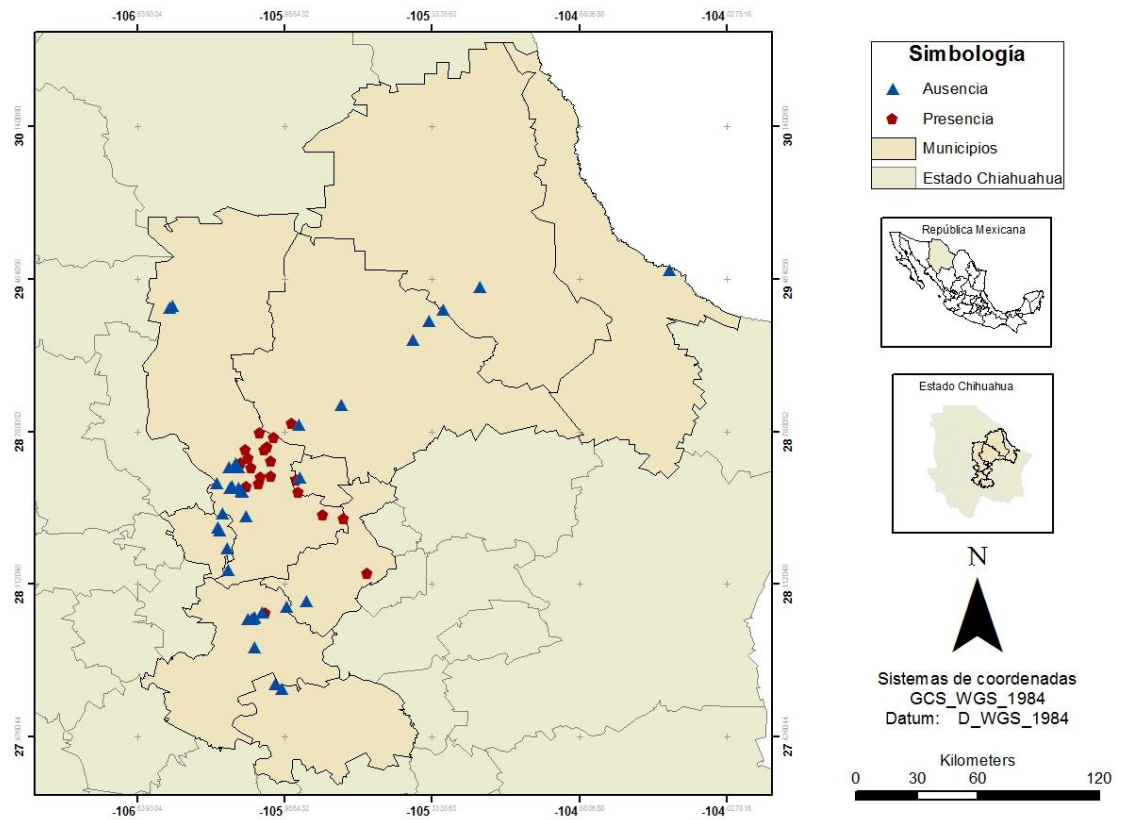


Figura 2. Presencia y ausencia de *Coryphantha chihuahuensis* en el estado de Chihuahua y sus municipios

2006; Wisz *et al.*, 2008; Mercado & Wallace, 2010; Pliscoff & Fuentes- Castillo, 2011). La distribución de la especie se definió por probabilidades mediante la salida logística propia del programa, donde se muestra la probabilidad de que la especie esté presente de acuerdo a un porcentaje del 0 a 100%. Para correr el programa se utilizaron datos de presencia y variables ambientales cualitativas o cuantitativas (Phillips *et al.* 2006; Mercado & Wallace, 2010; Pérez-García & Liria, 2013).

Se utilizaron 19 variables bioclimáticas (Cuadro 1), altitud, edafología, usos de suelo y vegetación. La utilización de estas variables fue para estimar las más representativas a la especie, y las condiciones en las que se pudiera ubicar. Los valores mensuales y anuales de temperatura y precipitación fueron tomadas del portal WorldClim-Global Climate Data versión 1.4. Además se obtuvo la elevación, variable determinante para esta especie. Los datos edafológicos se tomaron de INIFAP-CONABIO (1995) a una escala 1:250,000. La cobertura de uso de suelo y vegetación fue tomada del portal de INEGI (2007) escala 1:250,000 serie IV. El programa de MaxEnt se corrió tres veces combinando las diferentes variables. Para las tres opciones, el programa MaxEnt se programó con un porcentaje de prueba del 25%. Lo anterior significa que el 75% de los registros se toman como puntos de entrenamiento y el 25% como puntos de validación; con 15 réplicas y 5000 interacciones. Para la validación del modelo se analizó la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), salida gráfica del programa, que describe la tasa de identificación correcta de presencias contra la tasa de ausencias predichas. Esta curva da origen al estadístico Área Bajo la Curva (AUC). Los valores AUC tienen un rango que va de 0.5 (al azar) a 1.0

Cuadro 1. Variables bioclimáticas

Clave	Descripción
Bio 1	Temperatura media anual
Bio 2	Intervalo del promedio de temperatura diurna (media mensual (temperatura máxima-temperatura media))
Bio 3	Isoterma (*100)
Bio 4	Estacionalidad de la temperatura (desviación standard*100)
Bio 5	Temperatura máxima del mes más caliente,
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Intervalo de temperatura anual
Bio 8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo
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 mes más húmedo
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

(Pérez-García & Liria, 2013)

(discriminación perfecta), donde de 0.5 a 0.7 la confiabilidad del modelo es baja, de 0.7 a 0.9 señala una aplicación útil del modelo, y los valores superiores a 0.9 son de alta confiabilidad (Peterson *et al.*, 2008; Mercado & Wallace, 2010). El *jackknife*, otro de los resultados del programa, calcula la contribución de cada variable al modelo. Esto evidencia los principales requerimientos ambientales de la especie y por tanto, determinará la posible variable significativa para establecer la distribución potencial. La salida del programa “acumulativo” indica por pixel (1 x 1 km) el hábitat idóneo para la especie. Para estimar la presencia de la especie se utilizan rangos del 0 al 100, donde 100 y 0 es la mayor y menor probabilidad de presencia, respectivamente (Phillips *et al.*, 2006; Ibarra-Montoya *et al.*, 2012). Se ingresaron al programa 20 puntos de presencia (Cuadro 2) junto con las distintas combinaciones de variables. Las primeras variables a utilizar fueron las bioclimáticas, llamado modelo 1. Para el modelo 2 fueron las variables bioclimáticas en combinación con la altitud. En el modelo 3 se utilizaron las variables bioclimáticas, altitud, edafología, usos de suelo y vegetación.

El análisis estadístico se realizó por medio del programa MaxEnt. El cual se basa en un sistema estadístico de P probabilidad. Su análisis se basa en la función probabilística P sobre un conjunto x, o sea, puntos de registros. El modelo P se construye mediante un conjunto de restricciones derivadas del promedio empírico de ocurrencia, asociados a variables ambientales conocidas  $f(v)$ . Esto basado en el índice de Shannon, donde de las posibles combinaciones de funciones se utiliza la que minimiza la función de entropía (Phillips *et al.*, 2006).

Se obtuvieron las tres salidas logísticas con los modelos del distribución probable de *C. chihuahuensis*. Estos modelos fueron incorporados a un Sistema de



Cuadro 2. Puntos de presencia de *Coryphantha chihuahuensis*. Estudio de campo (julio y agosto del 2013)

ID	Lugar	X	Y
1	Camino a Horcasitas	28° 25' 08"	105° 49' 18"
2	Cerca Bachiniva	28° 23' 59"	105° 43' 47"
3	Grutas Nombre de Dios	28° 42' 20"	106° 04' 48"
4	Granjas universidad	28° 33' 13"	106° 06' 19"
5	Cerro San Sebastián	28° 42' 18"	106° 09' 41"
6	Libra Delicias- Juárez	28° 46' 53"	106° 05' 54"
7	Nombre de Dios feria Santa Rita	28° 39' 10"	106° 02' 55"
8	Presa las vírgenes	28° 09' 18"	105° 37' 30"
9	Carretera Delicias – Satevó	27° 59' 08"	106° 05' 15"
10	Delicias - Chih km. 201	28° 30' 53"	105° 55' 47"
11	Boulevard a Almada	28° 34' 52"	106° 05' 49"
12	Cerro grande	28° 35' 12"	106° 02' 57"
13	Municipio Aquiles Sedán	28° 34' 14"	105° 50' 04"
14	Ejido Labor de Terrazas	28° 32' 21"	106° 09' 24"
15	Prolongación Francisco Villa	28° 40' 04"	106° 08' 53"
16	Pista aviones prolongación Cantera	28° 38' 57"	106° 11' 02"
17	Cerro atrás CIMA	28° 37' 24"	106° 08' 10"
18	Carretera Aldama Autódromo	28° 49' 21"	105° 57' 34"
19	Carretera Aldama libramiento Juárez-Delicias	28° 45' 24"	106° 02' 16"
20	Centro Cerro Nombre de Dios	28° 42' 57"	106° 04' 06"

Información Geográfica (SIG) con la finalidad de generar mapas de consenso de valores por pixel (1 X 1 km). Para ello se determinó un umbral de corte al 30% de probabilidad, con el 10% de las poblaciones por debajo, resultado de MaxEnt. Siendo este porcentaje el más bajo dentro de los tres modelos y con el fin de uniformizar los resultados. Los rangos utilizados fueron: de 100 a 85%, 70 a 85%, 50 a 70%, 50 a 30% y de 30 a 0%, donde 100% es máxima probabilidad y 0% es ausencia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se cuestiona si la especie es endémica del estado de Chihuahua, debido a que Hernández *et al.*, (2004) la mencionaron en un listado de especies en el Desierto Chihuahuense en los estados de Chihuahua y Durango. Los mismos autores reportaron a *Coryphantha chihuahuensis* como *Escobaria chihuahuensis*. Dicho estudio se basa en un análisis literario, más no existe una corroboración en campo. Además de este estudio no se encontró otro registro de la especie fuera del estado de Chihuahua.

Los tres modelos resultantes son similares, señalan una distribución probable de *Coryphantha chihuahuensis* al centro y sur del estado de Chihuahua principalmente.

El modelo 1 marca una máxima probabilidad de presencia en torno a la ciudad de Chihuahua, seguida radialmente por rangos de menor magnitud que se extienden al sur (Figura 3A). Los 20 puntos de presencia quedan dentro de estos rangos y suman un área de 761 hectáreas. El modelo 2 muestra un comportamiento menos delimitado que el modelo anterior (Figura 3B). Este señala la probabilidad máxima probable al entorno de la ciudad de Chihuahua, cubre mayor área (1,128 ha.) y se extiende al sur de la misma. El tercer modelo señala una distribución más puntual que los demás modelos (Figura 3C). Aquí se ubican 13 puntos de presencia y cero de ausencia dentro del máximo rango, con un área potencial de 671 hectáreas (Cuadro 3). Los tres modelos predicen y delimitan la distribución potencial de la especie al estado de Chihuahua, corroborando las observaciones hechas en campo.

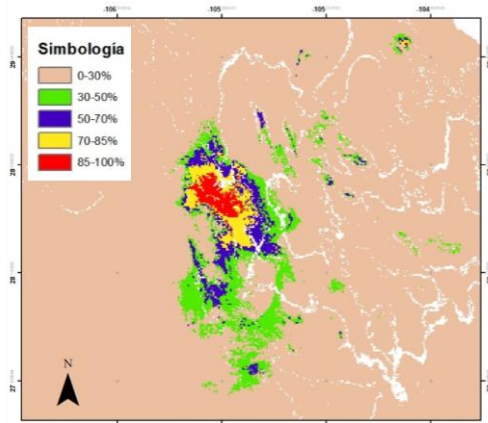


Figura 3A: Modelo 1. Variables bioclimáticas

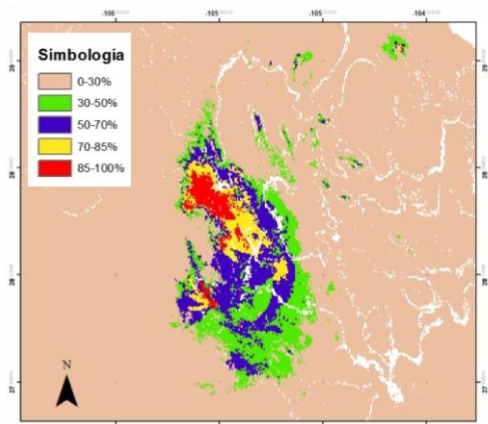


Figura 3B: Modelo 2. Variables bioclimáticas altura

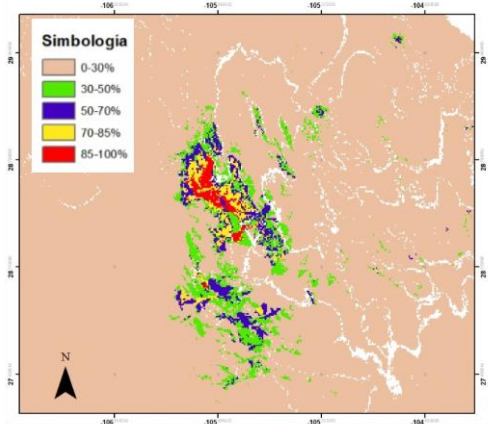


Figura 3C: Modelo 3. Variables bioclimáticas, altitud, edafología, usos de suelo y vegetación

Figura 3. Modelos de nicho fundamental de *Coryphantha chihuahuensis* en el estado de Chihuahua. Probabilidad de ocurrencia de la especie por rangos donde 100% es máxima presencia y 0% ausencia

Cuadro 3. Probabilidad de presencia de *Coryphantha chihuahuensis* en el estado de Chihuahua, bajo tres modelos de nicho fundamental

Probabilidad de presencia	Modelo 1 Área ha	Sitios de muestreo		Modelo 2 Área ha	Sitios de muestreo		Modelo 3 Área ha	Sitios de muestreo	
		P	A		P	A		P	A
85 a 100%	56	10	1	82	6	2	51	13	0
70 a 85%	105	4	4	140	6	2	82	6	4
50 a 70%	171	3	4	386	8	10	166	1	4
30 a 50%	459	3	3	520	0	4	372	0	8
0 a 30%	27,255	0	24	26,918	0	18	27,375	0	20

P: puntos de presencia en campo; A: puntos de ausencia en campo

Los resultados AUC muestran una buena predicción de los tres modelos, con valores  $>0.90$ ; la desviación estándar del modelo 1 y 3 es de 0.001 y para el modelo 2 es 0.002. La variable que aporta más a los tres modelos, resultado de *jackknife*, es la variable denominada Bio 2 (intervalo del promedio de temperatura diurna media mensual), una de las 19 variables bioclimáticas, por lo que se concluye que las variables bioclimáticas por si solas son capaces de delimitar la distribución actual de *C. chihuahuensis*, siendo esta variable en particular un elemento importante en la distribución y persistencia de sus poblaciones.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tres modelos muestran que la probabilidad de distribución de *Coryphantha chihuahuensis* se extiende del centro del estado de Chihuahua en forma radial y se incrementa al sur del mismo. Con algunas zonas aisladas al noreste y sureste del estado.

Para estimar el nicho fundamental de *C. chihuahuensis*, los tres modelos tuvieron comportamientos similares y una validación a uno. Sin embargo, el modelo tres presentó menor error, ya que contiene mayor número de puntos de presencia (13 de 20), dentro de la mayor probabilidad de presencia (70 a 100%).

El programa MaxEnt es una herramienta útil para modelar la distribución de especies como *C. chihuahuensis*, ya que facilita y agiliza resultados confiables para determinar el nicho fundamental.

El modelo obtenido para determinar el nicho fundamental para *C. chihuahuense* en el estado de Chihuahua es puntual, ya que muestra las áreas probables y adecuadas para la especie. No obstante, una de las principales amenazas para esta especie podría ser su cercanía a los desarrollos urbanos.

Los resultados son relevantes debido a que no se contaba con datos de ubicación ni del nicho fundamental de esta cactácea. Esta información puede ser de utilidad para la protección, conservación y recuperación de esta especie. Debe destacarse que a pesar de que la distribución actual observada se ajusta bien al modelo, queda la limitante de incluir variables de pendiente y exposición al modelo, que quizás pudieran aportar y generar un nicho fundamental todavía más preciso.

Por otro lado, se recomienda ampliar el estudio, mediante visitas de campo a sitios con tipos de vegetación de Matorral Xerófilo Micrófilo y Matorral Xerófilo Rosetófilo fuera del estado de Chihuahua. Para corroborar la ausencia de la especie en más estados y poder confirmar el posible endemismo dentro del estado de Chihuahua o del Desierto Chihuahuense. Además de ampliar la información de la especie mediante un análisis de asociación vegetativa y edáfica. Así como, realizar un estudio demográfico completo que ayudaría a determinar si se encuentra en alguna categoría de peligro o vulnerabilidad.



## LITERATURA CITADA

- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México vol. II. Editor Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega & C. Ríos-Muñoz. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nichos, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. Rev. Chil Hist. Nat. 83:421-433.
- Estrada-Castillo, E. & J.A. Villarreal- Quintanilla. 2010. Flora del centro del estado de Chihuahua, México. Acta Bot. Mex. 92:51-118.
- Hernández, H., C. Gómez-Hinostrosa & B. Goettsch. 2004. Checklist of Chihuahuan Desert Cactaceae. Harv. Pap. Bot. 9: 51–68.
- Hernández, H., C. Gómez-Hinojosa & G. Hoffman. 2010. ¿Es la rareza geográfica frecuente entre las cactáceas del Desierto Chihuahuense? Rev. Mex. Biodivers. 81:183-175.
- Ibarra-Montoya, J., G. Rangel-Peraza, F. González-Farías, J. Anda, E. Martínez-Meyer & H. Macías-Cuellar. 2012. Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp. (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. Rev. Ambient. Agua. 7(1): 218-234.
- Lebgue-Keleng, T.,O. Viramontes-Olivas, R. Soto-Cruz, M. Quiñonez-Martínez, S. Balderrama-Castañeda & Y. Aviña-Dominguez. 2011. Cactáceas endémicas y raras del estado de Chihuahua, México. Tecnociencia Chihuahua. 5(1):27-33.
- Lebgue-Keleng, T., Y. Aviña-Dominguez, R. Soto-Cruz, M. Quiñonez-Martínez, L. Cortes-Palacios, A. Melgoza-Castillo, C. Morales-Nieto, C. Vélez-Sanchez-Verin & S. Balderrama-Castañeda. 2014. Soil mineralogy and its relationship with cacti species in southeastern Chihuahua, México. Ecol. Apl. 13:205-209.
- Lebgue & Quintana. 2013. Cactáceas de Chihuahua. 2a Ed. Chihuahua. México. Proveedor Integracional y Servicios Ambientales, Gustavo Quintana Martínez, Instituto Chihuahuense de la Cultura. Chihuahua, México.
- Mercado, N. & R. Wallace. 2010. Distribución de primates en Bolivia y áreas prioritarias para su conservación. Trop. Conserv. Sci. 3:200-217.
- Milesi, F. A. & J. López de Casevave. 2005. El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. Ecol. Austral. 15:131-148.
- Nyffeler, R. & U. Egli. 2010. A farewell to dated ideas and concepts: molecular phylogenetics and a revised suprageneric classification of the family *Cactaceae*. Shumannia. 6:109-149.

- Pérez-García, B. & J. Liria. 2013. Modelos de nicho ecológico fundamental para especie del género *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Rev. Mex. Biodives.* 84: 600-611.
- Peterson, A. T., M. Papes & J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecol. Modell.* 213:63-72.
- Phillips, S., R. Anderson & R. Eschaoire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190:231-259.
- Phillips, S. & M. Dudik. 2008. Modeling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography.* 31:161-175.
- Pliscoff, P. & T. Fuentes-Castillo. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 48:61-79.
- Potere, D. 2008. Horizontal positional accuracy of Google Earth's high - resolution imagery archive. *Sensors.* 8:7973-7981.
- Prado, A., J. Hawkins, C. Yesson, & R. T. Bárcenas. 2010. Multiple diversity measures to identify complementary conservation areas for Baja California peninsular cacti. *Biol Cons.* 143:1510-1520.
- Soberón, J. & T. Peterson. 2011. Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note. *Rev. Mex. Biodives.* 82:1348-1355.
- Wisn, M. S., R. J. Hijmans, J. Li, A. T. Peterson, C. H. Graham, A. Guisan & NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Divers. Distrib.* 14: 763–773.

## ESTUDIO II. RANGO DE TOLERANCIA Y ABUNDANCIA DE *CORYPHANTHA CHIHUAHUENSIS* (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO

POR:

Irma Ibarra-Díaz Velarde<sup>1</sup>, Toutcha Lebgue-Keleng<sup>1</sup>, Oscar Viramontes-Olivas<sup>2</sup>, Ignacio Reyes-Cortes<sup>3</sup>, Juan A. Ortega-Gutierrez<sup>1</sup> y Carlos Morales-Nieto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>2</sup> Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

### RESUMEN

El rango de tolerancia es un conjunto de variables bióticas y abióticas que marcan límites de confort para las especies vegetales. Muestran atributos que ayudan a identificar el nivel de integración de una comunidad y conservación de la biodiversidad. El objetivo del estudio fue determinar el rango de tolerancia biótico de *Coryphantha chihuahuensis* mediante la asociación vegetal a la que responde y estimar su abundancia. El estudio se basa en un trabajo de campo con 20 parcelas de 100 m<sup>2</sup> cada una, donde el eje central es una planta de *C. chihuahuensis*. Sobre este cuadrante se realizó un levantamiento de especies existentes (arbustos, hierbas, gramíneas y cactáceas) y la cuantificación de ejemplares de *C. chihuahuensis*. Se analizó el número de especies, géneros y familias; así como la probabilidad de presencia de cada una. Se utilizaron estadísticas descriptivas que ayudaron a determinar la media de abundancia de la especie. Florísticamente, se obtuvieron un total de 25 familias, 51 géneros y 70 especies. La mayor probabilidad de presencia fueron las arbustivas con un

40%, seguidas por gramíneas 21%, herbáceas 20% y cactáceas 18%. La estima de abundancia para *C. chihuahuensis* es de seis plantas por 100 m<sup>2</sup> con todos los puntos de estudio y tres plantas sin incluir los sitios con mayor presencia para evitar sesgo. La abundancia de la especie va de una a 23 plantas en cada parcela. Aparte de tener una distribución muy restringida, *C. chihuahuensis* se encuentra vulnerable debido a que su hábitat está siendo invadido por el desarrollo urbano de la ciudad de Chihuahua.

## ABSTRACT

The tolerance range is a set of biotic and abiotic variables that set limits of comfort for plant species. They show attributes that help identify the level of community integration and conservation of biodiversity. The objective of the study was to determine the range of biotic tolerance of *Coryphantha chihuahuensis* through the plant association to which it responds and to estimate its abundance. The study is based on field work with 20 plots of 100 m<sup>2</sup> each, where the central axis is a *C. chihuahuensis* plant. On this quadrant we surveyed existing species (shrubs, grasses, herbaceous and cacti) and quantified *C. chihuahuensis* specimens. The number of species, genera, and families was analyzed as well as the probability of presence of each one. Descriptive statistics were used to help determine the average abundance of the species. Floristically, a total of 25 families, 51 genera, and 70 species were obtained. The highest probability was 40% for shrubs, followed by grasses 21%, herbaceous 20%, and cacti 18%. The abundance estimate for *C. chihuahuensis* was six plants per 100 m<sup>2</sup> with all study points and three plants without including sites with greater presence to avoid bias. The abundance of the species ranges from 1 to 23 plants in each plot. Apart from its restricted distribution, *C. chihuahuensis* is vulnerable because its habitat is being invaded by urban development from the city of Chihuahua.

## INTRODUCCIÓN

La estructura de una comunidad biológica está determinada por patrones espaciales de distribución, por la clase y número de individuos que forman las poblaciones. En ellas se distinguen tres aspectos fundamentales: composición, estratificación y límites. La asociación vegetal muestra un conjunto de características fisiográficas y climáticas específicas. Además, cada sitio cuenta con condiciones bióticas y abióticas particulares que marcan límites y por tanto un rango de confort para las especies vegetales. Si este rango de tolerancia se altera, los organismos sufren un estrés que puede llegar a su extinción (Sánchez *et al.*, 2011). El análisis y clasificación vegetal señalan un conjunto de variables biofísicas particulares, cuyos atributos ayudan a identificar el nivel de integración de una comunidad (Sosa *et al.*, 2006; y Rocha-Loredo *et al.*, 2010), lo que conlleva a la conservación de la biodiversidad (Hernández & Godínez 1994). México a pesar de estar catalogado entre los cinco países megadiverso del mundo, ocupa el tercer lugar entre los países con mayores tasas de deforestación. Es un país con gran variedad de ecosistemas, pero el diagnóstico de su riqueza en diversidad vegetal todavía es insuficiente, así como algunos inventarios carecen de buena estructura (Valenzuela *et al.*, 2015). Los mismos autores señalaron que más del 50% del territorio mexicano se encuentra ocupado por ecosistemas áridos y semiáridos, muchos de ellos perturbados y fragmentados. Al respecto señalaron que llegan a modificarse hasta 50,000 ha de vegetación en estas zonas por año. Esto a causa del cambio de uso de suelo, sobrepastoreo, extracción de especies, expansión agrícola y ganadera, principalmente (Valenzuela *et al.*, 2015; y Villanueva *et al.*, 2016). A lo que

subrayan Valenzuela *et al.* (2015) la poca documentación a esta afectación a la diversidad y composición vegetal en estos ecosistemas del país.

Dichos ecosistemas se caracterizan por tener las condiciones restringidas de humedad disponible en el suelo, junto con una estación corta de precipitación al año (250 mm o menor) y largas horas de exposición solar (Sosa *et al.*, 2006; y Lara-Juárez *et al.*, 2016). Dentro de las zonas áridas y semiáridas se desarrolla la familia *Cactaceae* endémica del Continente Americano (Hernández & Godínez 1994; Villanueva *et al.*, 2015; y Lara-Juárez *et al.*, 2016). Su mayor riqueza se encuentra en México, principalmente en tipos de vegetación de Matorral Desértico Rosetófilo (MDR) (Hernández & Godínez 1994; y Lara-Juárez *et al.*, 2016). Estudios como los efectuados por López-Gómez *et al.* (2010) demostraron que en estos tipos de clima existe mayor abundancia de cactáceas en áreas con exposición sur, a pesar de que la orientación norte genera hasta seis veces mayor humedad, gracias a una menor radiación solar; lo que indica la necesidad de que esta familia es de larga duración de exposición solar (López-Gómez *et al.*, 2010). Hernández & Godínez, (1994) y Villanueva *et al.* (2015) expusieron que los cactus son una de las familias más amenazadas, con un endemismo de hasta el 80% en el territorio mexicano. Villanueva *et al.* (2015) resaltaron el valor de estas plantas en el país debido a su impacto cultural, social, económico y ecológico, ya que han sido utilizadas en el sector alimenticio, medicinal, religioso, forrajero, así como cercos vivos, y plantas de ornato. Por tanto, son de las especies de planta más amenazadas por el comercio, la recolección ilegal, el cambio de uso de suelo y la industrialización.

El género *Coryphantha* es uno de los más diversos dentro de la familia con 60 o más taxones. Según Ditch & Luthy (2005) y Lebgue & Quintana (2013), a excepción de una franja pequeña en el suroeste de los Estados Unidos, la distribución del género está prácticamente restringida en México, extendiéndose desde el este hasta el oeste, cubriendo las dos Sierras Madres (Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental), y ocupando áreas de los dos desiertos (Chihuahuense y Sonorense), desde el norte hasta el sur del país. Una de las especies poco estudiadas dentro de esta familia es *Coryphantha chihuahuensis* endémica del estado de Chihuahua en el Desierto Chihuahuense (Estrada-Castillo & Villarreal-Quintanilla, 2010; y Lebgue & Quintana, 2013). Su hábitat es limitado y se presenta en forma de manchones dentro de los Matorrales Desérticos Micrófilos (MDM) y Matorrales Desérticos Rosetófilos (MDR) a altitudes de 1200 a 1700 msnm (Lebgue & Quintana, 2013).

En un estudio realizado por Alanís-Rodríguez *et al.* (2015) se analizaron dos tipos de MDR con distintos tipos de suelo (Rendzina + Litosol, textura media, lítico y Regosol calcárico + Litosol, textura media) donde demostraron que, aunque sea el mismo tipo de vegetación, existen variaciones bióticas o abióticas que conllevan a la formación de distintas asociaciones vegetales.

El objetivo del estudio fue determinar el rango de tolerancia biótico de *Coryphantha chihuahuensis* mediante la asociación vegetal a la que responde y estimar su abundancia. Esto será de interés para especialistas en biología, científicos o tecnólogos que requieran saber sobre la distribución ecológica y su especiación en el estado de Chihuahua.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Tipos de Vegetación en Chihuahua**

El estado de Chihuahua tiene con una superficie de 247,087 km<sup>2</sup>. Dentro de su fisiografía, la región centro se caracteriza por estar dentro de dos provincias fisiográficas: Sierra Madre Occidental y Sierras y Llanuras del Norte. Estas últimas abarcan el 70% del territorio, representan las zonas áridas y semiáridas del estado (Estrada-Castillón & Villarreal-Quintanilla, 2010; INAFED, 2015; Consejo Nacional Forestal, 2011; y Gobierno del estado de Chihuahua, 2015). A su vez, estas zonas ocupan el 34% del ecosistema Desierto Chihuahuense (DCh) (Estrada-Castillo & Villarreal-Quintanilla, 2010), lugar donde se alberga parte de la región florística xerofítica de México, en donde sobresale la familia *Cactaceae* (Estrada-Castillón & Villarreal-Quintanilla, 2010). El estado cuenta con matorral xerófilo, pastizal y bosque de encino-pino, principalmente (Rzedowski, 2006). A lo que Lebgue & Quintana (2013) mencionaron que la vegetación hogar de las cactáceas son los matorrales desérticos micrófilos y rosetófilos, mezquitales, pastizales, bosques templados y bosques tropicales caducifolios.

### **Matorral Desértico o Xerófilo**

El Matorral Desértico también conocido como Matorral Xerófilo se caracteriza por comunidades de porte arbustivo, adaptadas de climas áridos y semiáridos. Posee una gran diversidad de especies debido a la variedad de formas biológicas. El 32% de la superficie del estado de Chihuahua está ocupada por Matorrales Xerófilos (Lebgue & Quintana, 2013). Esto contribuye a que la organización de algunas comunidades vegetales pueda llegar a ser muy

sencillas. A su vez el endemismo encontrado en este tipo de vegetación es de una riqueza considerable (Rzedowski, 2006). Cabe mencionar aquí que el Matorral Desértico o Xerófilo está formado por dos asociaciones vegetales que a continuación se describen brevemente:

### **Matorral Desértico Micrófilo y Rosetófilo**

El aspecto fisonómico es el que identifica al Matorral Desértico Micrófilo (MDM), ya que se caracteriza por tener arbustos de hojas pequeñas, con o sin espinas. Estas agrupaciones son las más abundantes en las zonas áridas del estado inclusive del país y se ubican sobre planicies y lomeríos bajos. Dentro de las especies más sobresalientes están *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Prosopis glandulosa*, *Fouquieria splendens*, *Parthenium incanum*, *Jatropha dioica*, *Cetlis pallida*, *Opuntia* sp., entre otras (Rzedowski, 2006; y Lebgue & Quintana, 2013). Los Matorrales Desérticos Rosetófilos (MDR) son caracterizados por tener vegetación con hojas grasas agrupadas en forma de rosetas. Se ubican en las partes altas de los lomeríos provenientes de rocas ricas en carbonato de calcio. Estos tipos de matorrales se ubican desde el este de Chihuahua hasta San Luis Potosí (Rzedowski, 2006; Estrada-Castillón & Villarreal-Quintanilla, 2010; y Lebgue & Quintana, 2013). Las plantas más características son: *Agave lechuguilla*, *Dasyllirion wheeleri*, *Yucca* sp., *Euphorbia antisiphylityca*, *Senna wislizenii*, *Tecoma stans*, *Aloysia wrightii*, entre otras. En ocasiones, es complicado hacer una delimitación precisa ya que las dos asociaciones vegetales llegan a compartir las mismas especies florísticas. Los dos tipos de matorrales antes mencionados; contienen el 65% de todas las especies de cactáceas encontradas en el estado de Chihuahua (Lebgue & Quintana, 2013).

### **Hábitat de *Coryphantha chihuahuensis***

La distribución de *C. chihuahuensis* (Figura 1) es limitada. Fue recolectada por Palmer en 1908 en montañas a 20 km de la ciudad de Chihuahua, Chih. (Bravo-Hollis & Sánchez- Mejorada, 1991; y Anderson, 2001). En estudios de campo como los realizados por Lebgue & Quintana (2013) reportaron a la especie en los alrededores de la ciudad de Chihuahua y municipios adyacentes de Delicias y Rosales. Los mismos autores mencionaron que la especie se desarrolla en tipo de vegetación de MDM y MDR; aparte de estas dos asociaciones vegetales no se conoce más sobre su distribución.



Figura 1. *Coryphantha chihuahuensis* en sitios de muestreo. Foto por I.K. Ibarra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo en los meses de julio y agosto de 2013. Se analizaron 20 puntos con presencia de *Coryphantha chihuahuensis* previamente registrados dentro del estado de Chihuahua, en los municipios de Chihuahua, Aldama, Aquiles Serdán, Rosales y Satevó (Figura 2; Cuadro 1) (Ibarra-Díaz Velarde *et al.*, 2016).

En estos puntos se seleccionó una planta de *Coryphantha chihuahuensis* al azar, misma que se tomó como eje central para delimitar un cuadrante de 10 X 10 m (Figura 3), medida utilizada por Figueroa & Giménez (2015) para registrar densidad de especies. Sobre este cuadrante se realizó un levantamiento de especies existentes y la cuantificación de ejemplares de *C. chihuahuensis*. De igual forma, se tomó registro de especies de: arbustos (Sp), herbáceas (H), gramíneas (Z) y presencia de otras cactáceas (C); así como los datos espaciales de altitud, orientación o exposición. A los sitios de muestreos se les dio una clasificación en torno a su ubicación: cercano a zona urbana; cercano a caminos ya sean carreteras, caminos o brechas; cercano a desarrollos carreteros o nuevos caminos y; zonas internas. Los parámetros a seguir para la zona urbana fueron: espacio rodeado de desarrollo urbano y la cercanía al mismo no mayor a 500 m. Cercano a carreteras o caminos: un máximo de 500 m del camino al punto de muestreo o que exista vista de la parcela al camino. Cercano a desarrollos carreteros: carreteras en construcción a una distancia máxima de 500 m de la carretera o camino. Zonas internas: puntos a más de 500 m de algún camino, asentamiento o desarrollo humano (Cuadro 2).

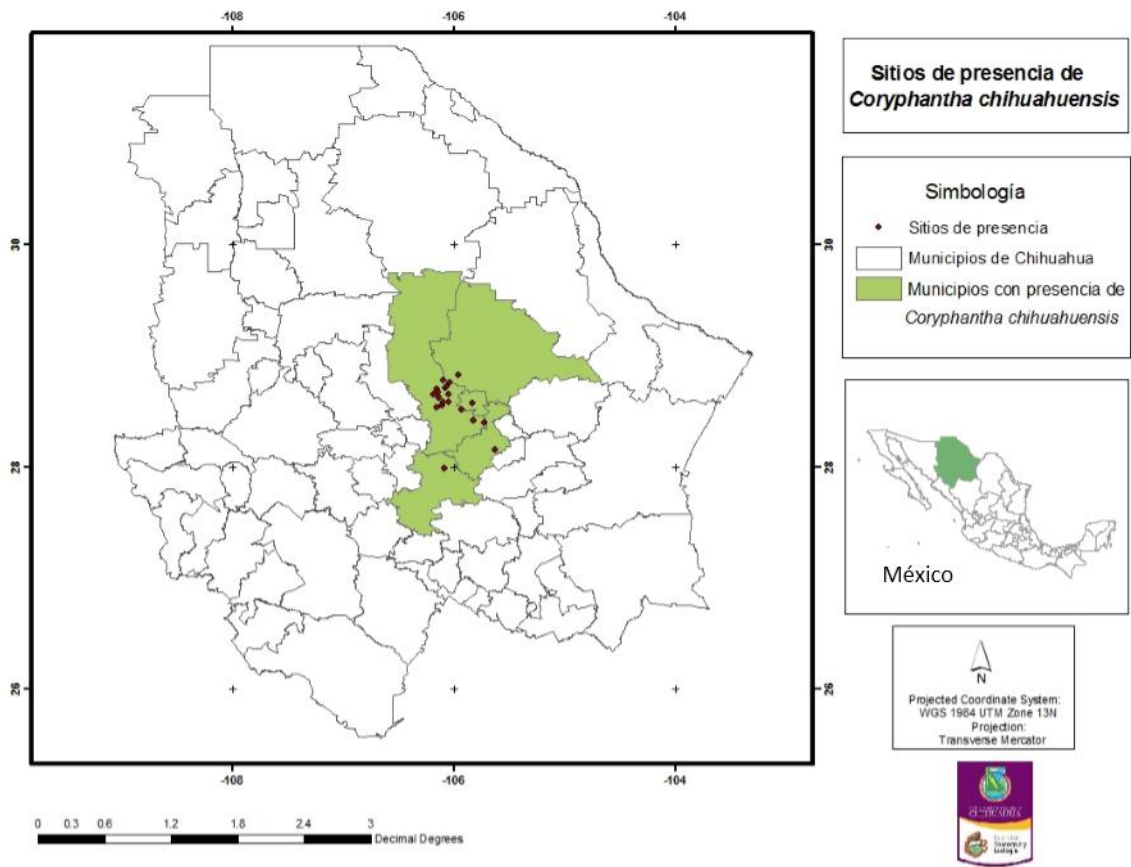
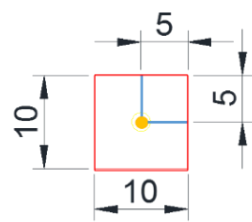


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio y 20 parcelas.

Cuadro 1. Sitios de muestreo, punto central de cada parcela.

ID	Lugar	X	Y
1	Camino a Horcasitas	28° 25' 08"	105° 49' 18"
2	Cerca Bachiniva	28° 23' 59"	105° 43' 47"
3	Grutas Nombre de Dios	28° 42' 20"	106° 04' 48"
4	Granjas universidad	28° 33' 13"	106° 06' 19"
5	Cerro San Sebastián	28° 42' 18"	106° 09' 41"
6	Libra Delicias- Juárez	28° 46' 53"	106° 05' 54"
7	Nombre de Dios feria Santa Rita	28° 39' 10"	106° 02' 55"
8	Presa las vírgenes	28° 09' 18"	105° 37' 30"
9	Carretera Delicias – Satevo	27° 59' 08"	106° 05' 15"
10	Delicias - Chih km. 201	28° 30' 53"	105° 55' 47"
11	Boulevard a Almada	28° 34' 52"	106° 05' 49"
12	Cerro grande	28° 35' 12"	106° 02' 57"
13	Municipio Aquiles Serdán	28° 34' 14"	105° 50' 04"
14	Ejido Labor de Terrazas	28° 32' 21"	106° 09' 24"
15	Prolongación Francisco Villa	28° 40' 04"	106° 08' 53"
16	Pista aviones prolongación Cantera	28° 38' 57"	106° 11' 02"
17	Cerro atrás CIMA	28° 37' 24"	106° 08' 10"
18	Carretera Aldama Autódromo	28° 49' 21"	105° 57' 34"
19	Carretera Aldama libramiento Juárez- Delicias	28° 45' 24"	106° 02' 16"
20	Centro Cerro Nombre de Dios	28° 42' 57"	106° 04' 06"



Simbología

- Parcela 10 X 10 m
- Planta referencia *Coryphantha chihuahuensis*
- Ejes de referencia

Figura 3. Modelo de parcela 10 X 10 m.



Cuadro 2. Clasificación de parcelas por su ubicación.

Clasificación	No. Sitio de muestreo
Cercano a zona urbana	3, 4, 5, 7,8,12,15,17
Cercano a caminos, carreteras o brechas	1, 2, 10, 13, 14,16, 18,20
Cercano a carreteras en construcción	6,19
Zonas internas	9, 11

## **Análisis Estadísticos**

Para determinar la sociabilidad vegetal de *Coryphantha chihuahuensis* se registraron las especies encontradas correspondientes a los grupos antes señalados, dentro de las parcelas de 10 X 10 m. Se elaboró una lista con los individuos por sitio. Se analizó el número de especies, género y familia; número total de especies por sitio; especies más frecuentes; como la probabilidad de presencia de cada una, se utilizó el programa Minitab 16. También, se utilizaron estadísticas descriptivas para determinar la media de abundancia de la especie. Para esto, utilizando Minitab 16 y Excel 2013, se realizaron dos cálculos: uno con el total de los registros y el otro sin considerar los tres sitios donde se registraron más abundancia poblacional de *C. chihuahuensis*; y esto para evitar algún sesgo.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

*Coryphantha chihuahuensis* se desarrolla mayormente en el MDM (80%), ya que solo el 20% de las muestras fueron encontradas en las condiciones ambientales del MDR. Florísticamente, se obtuvieron en el área de estudio un total de 275 registros los cuales arrojaron 25 familias, 51 géneros, 71 especies incluyendo *C. chihuahuensis*. Según la forma de vida de las plantas, se encontraron 20 especies arbustivas (Cuadro 4), 22 herbáceas (Cuadro 5), 19 gramíneas (Cuadro 6) y 10 suculentas (cactáceas) incluyendo *C. chihuahuensis* (Cuadro 7). Aunque las herbáceas dominaron en diversidad, las arbustivas sobresalieron en abundancia. Estas últimas cuentan con 111 registros, seguidas de gramíneas con 58, herbáceas 56 y 50 cactáceas (incluyendo *C. chihuahuensis*) (Cuadro 3). Las especies con mayor presencia son *Aloysia wrightii* (Sp4) y *Tecoma stans* (Sp18) registradas en los sitios 19 y 18, respectivamente; la arbustiva *Mimosa aculeatifolia* (Sp14) con 14 presencias; *Opuntia* sp. (C8) con 11 registró, seguidas de *Jatropha dioica* (Sp12) y *Sida procumbens* (H17) con 10 repeticiones cada uno. Con menor presencia se encuentra *Cenchrus ciliaris* (Z7) con 9, *Croton pottsii* (H5) y *Heteropogon contortus* (Z11) con 8 registros cada una.

Del total de las especies registradas, el 46.5% tienen presencia en un solo sitio; esto representa el 27.3% en arbustivas, el 36.4% de herbáceas, de gramíneas 24.2% y de cactáceas el 12.1%. Por otro lado, el 28.2% del total de las especies tienen presencia en 5 sitios o más. Las especies arbustivas repuntan en presencia con el 45%, seguida de las gramíneas con el 25%, las herbáceas y

Cuadro 3. Formas de vida encontradas en parcelas, número de especies, cantidad de registros y probabilidad de presencia.

Forma de vida	No. de especies por grupo	No. de registros	Especies con un registro (%)	Especies superior a 5 registros (%)	10 registros ó más (%)	Prob. Presencia (%)
Arbustivas	20	111	27.3	45	62.5	40.4
Herbáceas	22	56	36.4	15	12.5	20.4
Gramíneas	19	58	24.2	25	0	21.1
Cactáceas	10*	50**	12.1	152	25	18.2
TOTAL	71	275	46.5	28.2	11.1	

\*9 sin *Coryphantha chihuahuensis* \*\*30 sin *Coryphantha chihuahuensis*

Cuadro 4. Arbustos. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia.

Clave	Especie	Registros	Prob.1	Prob.3
Sp1	<i>Acacia angustissima</i>	2	10%	3%
Sp2	<i>Acacia constricta</i>	6	30%	10%
Sp3	<i>Acacia neovernicosa</i>	1	5%	1%
Sp4	<i>Aloysia wrightii</i>	19	95%	27%
Sp5	<i>Asclepias oenotheroides</i>	1	5%	1%
Sp6	<i>Baccharis</i>	1	5%	1%
Sp7	<i>Celtis pallida</i>	9	45%	13%
Sp8	<i>Condalia ericoides</i>	1	5%	1%
Sp9	<i>Dasyilirion</i> sp.	2	10%	3%
Sp10	<i>Ephedra trifurca</i>	1	5%	1%
Sp11	<i>Fouquieria splendens</i>	7	35%	10%
Sp12	<i>Jatropha dioica</i>	10	50%	14%
Sp13	<i>Mimosa dysocarpa</i>	1	5%	1%
Sp14	<i>Mimosa aculeatifolia</i>	14	70%	20%
Sp15	<i>Nolina texana</i>	1	5%	1%
Sp16	<i>Prosopis glandulosa</i>	9	50%	13%
Sp17	<i>Senna wislizenii</i>	6	30%	9%
Sp18	<i>Tecoma stans</i>	18	90%	26%
Sp19	<i>Tiquilia greggii</i>	1	5%	1%
Sp20	<i>Ziziphus</i> sp.	1	5%	1%

Prob.1= Probabilidad de presencia por forma de vida; Prob.2= Probabilidad entre total de especies.

Cuadro 5. Herbáceas. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia.

Clave	Especie	Registros	Prob.1	Prob.2
H1	<i>Amoreuxia</i> sp.	1	5%	1%
H2	<i>Asclepias latifolia</i>	2	10%	3%
H3	<i>Aspicarpa humilis</i>	1	5%	1%
H4	<i>Bidens</i> sp.	1	5%	1%
H5	<i>Croton pottsii</i>	8	40%	11%
H6	<i>Cheilanthes villosa</i>	1	5%	1%
H7	<i>Chenopodium álbum</i>	1	5%	1%
H8	<i>Descurainia pinnata</i>	1	5%	1%
H9	<i>Datura stramonium</i>	1	5%	1%
H10	<i>Dichondra argétea</i>	3	15%	4%
H11	<i>Evolvulus alsinoides</i>	7	35%	10%
H12	<i>Evolvulus sericeus</i>	2	10%	3%
H13	<i>Hoffmannseggia</i> sp.	1	5%	1%
H14	<i>Ipomoea</i> sp.	4	20%	6%
H15	<i>Oenothera triloba</i>	1	5%	1%
H16	<i>Portulaca pilosa</i>	2	10%	3%
H17	<i>Sida procumbens</i>	10	50%	14%
H18	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	3	15%	4%
H19	<i>Sphaeralcea angustifolia</i>	3	15%	4%
H20	<i>Tidestromia lanuginosa</i>	1	5%	1%
H21	<i>Viguiera cordifolia</i>	1	5%	1%
H22	<i>Vicia</i> sp.	1	5%	1%

Prob. 1= Probabilidad de presencia por forma de vida; Prob.2= Probabilidad entre total de especies.

Cuadro 6. Gramíneas. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia.

Clave	Especie	Registros	Prob.1	Prob.2
Z1	<i>Aristida adscensionis</i>	6	30%	9%
Z2	<i>Aristida divaricata</i>	4	20%	6%
Z3	<i>Bouteloua curtipendula</i>	5	25%	7%
Z4	<i>Bouteloua gracilis</i>	2	10%	3%
Z5	<i>Bouteloua hirsuta</i>	1	5%	1%
Z6	<i>Buchloe dactyloides</i>	1	5%	1%
Z7	<i>Cenchrus ciliaris</i>	9	45%	13%
Z8	<i>Cynodon dactylon</i>	1	5%	1%
Z9	<i>Elyonurus barbiculmis</i>	1	5%	1%
Z10	<i>Eragrostis cilianensis</i>	1	5%	1%
Z11	<i>Heteropogon contortus</i>	8	40%	11%
Z12	<i>Leptoloma cognatum</i>	3	15%	4%
Z13	<i>Leptochloa dubia</i>	1	5%	1%
Z14	<i>Lycurus phleoides</i>	4	20%	6%
Z15	<i>Melinis repens</i>	5	25%	7%
Z16	<i>Panicum hallii</i>	1	5%	1%
Z17	<i>Pennisetum sp.</i>	1	5%	1%
Z18	<i>Setaria leucopila</i>	2	10%	3%
Z19	<i>Setaria macrostachya</i>	2	10%	3%

Prob. 1= Probabilidad de presencia por forma de vida; Prob.2= Probabilidad entre total de especies.

Cuadro 7. Cactáceas. Clasificación de especies, registro y probabilidad de presencia.

Clave	Especie	Registros	Prob.1	Prob.2
C1	<i>Coryphantha delaetiana</i>	1	5%	1%
C2	<i>Coryphantha ramillosa</i>	3	15%	4%
C3	<i>Coryphantha robustispina</i>	1	5%	1%
C4	<i>Coryphantha sneedii</i>	1	5%	1%
C5	<i>Coryphantha tuberculosa</i>	1	5%	1%
C6	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	3	15%	4%
C7	<i>Echinocereus pectinatus</i>	6	30%	9%
C8	<i>Opuntia</i> sp.	11	55%	16%
C9	<i>Opuntia imbricata</i>	3	15%	4%

Prob. 1= Probabilidad de presencia por forma de vida; Prob.2= Probabilidad entre total de especies.



cactáceas con 15% cada una. Mientras que con 10 registros sólo se encuentran el 11.1% de las especies.

En cuanto a la probabilidad de presencia por formas de vida, las arbustivas representan un 40%, seguidas de las gramíneas y herbáceas con 21 y 20%, respectivamente y con menor probabilidad las cactáceas con un 18% (Cuadro 3). Al analizar los datos registrados, se detectó que *Coryphantha chihuahuensis* se asocia principalmente con *Aloysia wrightii* (Sp4) y *Tecoma stans* (Sp18) (95 y 90% de probabilidad de asociación); seguida por *Mimosa aculeatifolia* (Sp14) (70%); *Opuntia* sp. (C8) (55%); *Jatropha dioica* (Sp12) (50%), *Sida procumbens* (H17) (50%), y *Celtis pallida* (Sp7) (45%), incluyendo dos gramíneas, *Cenchrus ciliaris* (Z7) y *Heteropogon contortus* (Z11) (45 y 40%). Dicha probabilidad de asociación se redujo para el resto de las especies encontradas en el área de estudio (35% o menos).

Por otro lado, la abundancia estimada de seis plantas de *Coryphantha chihuahuensis*/100 m<sup>2</sup>, fue obtenida considerando a todos los sitios de muestreo; sin embargo, al eliminar los tres sitios con mayor concentración de individuos, esta abundancia se redujo a tres plantas/100 m<sup>2</sup>. Dichos sitios con mayor población de *C. chihuahuensis* fueron el 8 con 23 plantas, el 2 con 19 y el sitio 19 con 11 plantas. El resto de los sitios presentaron poblaciones desde un individuo de planta hasta 7/100 m<sup>2</sup>. La probabilidad de que existan de una a siete plantas en 100 m<sup>2</sup> es de 90%, mientras una población mayor a siete plantas es sólo del 20% (Cuadro 8). Se podría asumir una diferencia de abundancia importante entre parcelas. Aunado a la clasificación de parcelas por ubicación, solo el 10% de los sitios de muestreo se localizaron en zonas internas, a

Cuadro 8. Población de *Coryphantha chihuahuensis* por sitio y su estima poblacional.

Sitio	Población	Estima poblacional
1	4	Baja
2	19	Alta
3	4	Baja
4	1	Baja
5	4	Baja
6	1	Baja
7	7	Media
8	23	Alta
9	2	Baja
10	3	Baja
11	7	Media
12	1	Baja
13	1	Baja
14	1	Baja
15	2	Baja
16	4	Baja
17	5	Media
18	2	Baja
19	11	Alta
20	7	Media

diferencia del resto que se encuentran cercanos a algún tipo de desarrollo urbano. Lo que deja en duda si agentes externos (sobrepastoreo, recolección, cambios de uso de suelo, etc.) a su hábitat afectan o modifican la abundancia de la especie. A esto se puede agregar lo expuesto por Valenzuela *et al.* (2015) y Villanueva *et al.* (2016) donde aseveran las amenazas en zonas áridas y semiáridas del país, debido a sus condiciones medio ambientales extremas y los cambios de uso de suelo principalmente; donde además hacen énfasis en la fragilidad de la familia *Cactaceae*.

En el Cuadro 2, se observa que ocho de los sitios de muestreo están cercanos a zona urbana, otros ocho contiguos a caminos o carreteras, dos colindantes a construcción de carreteras y dos en zonas internas. Esto indica que el 90% de los sitios estudiados se encuentran cercanos a algún tipo de desarrollo urbano; por lo que se puede considerar la vulnerabilidad de la especie de estudio. Tomando en cuenta el primer registro de la especie en 1908, reportado por Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada en 1991, el cual ubicó a la planta en lomeríos de la ciudad de Chihuahua; y su propio registro de 1991 especificó una distancia de 20 km de la ciudad pero sin dar una orientación. De 1991 a la fecha, la ciudad de Chihuahua aumentó su extensión territorial conforme al crecimiento poblacional que abarcó casi 1,000 ha en terreno (IMPLAN 2016). Observando el mapa de ubicación de los sitios en el presente estudio, muchos de los lomeríos mencionados en 1991 ya están urbanizados o muy cercanos a alguna área en desarrollo.

La vegetación encontrada corresponde a los dos tipos de vegetación MDM y MDR mencionados por Rzedowski (2006) y Lebgue & Quintana (2013); corroborando, así mismo, lo señalado por Lebgue & Quintana (2013) que *Coryphantha chihuahuensis* se desarrolla en los dos tipos de matorrales, aunque se haya observado una fuerte tendencia a MDM en este estudio. Además, las tres especies asociadas con mayor abundancia: *Aloysia wrightii* (Sp4), *Tecoma stans* (Sp18) y *Mimosa aculeatifolia* (Sp14), se encuentran en los dos matorrales. Por lo anterior, es probable que el hábitat real de *C. chihuahuensis* sea MDM y los sitios detectados como MDR sean puntos de transición entre ambos tipos de matorral. Esto difiere con Lara-Juárez *et al.* (2016), los cuales mencionan que el tipo de vegetación predominante para cactáceas es MDR. Sin embargo, el estudio realizado por Alanis-Rodríguez *et al.* (2015) lo reafirma, ya que demostraron que en un mismo tipo de vegetación en zonas distintas, se encuentran asociaciones vegetales diferentes.

Estos registros de elevaciones de la especie (1220 y 1655 msnm) están dentro del rango (1200 y 1700 msnm) expuesto por Lebgue & Quintana (2013).

## CONCLUSIONES

*Coryphantha chihuahuensis* tiene como rango de tolerancia biótico los matorrales desérticos, principalmente el Matorral Desértico Micrófilo y en menor proporción el Matorral Desértico Rosetófilo; se asocia con *Aloysia wrightii* y *Tecoma stans*, ambas especies se encuentran en forma abundante en los dos tipos de vegetación. La presencia de estas especies asociadas y aunada a algunas condiciones físico-ambientales del hábitat, como laderas rocosas, son determinantes en la ubicación de *C. chihuahuensis*.

Como conclusión final se estima que *Coryphantha chihuahuensis* es una especie muy vulnerable, tanto por las atribuciones como por las amenazas propias de la familia. El conocimiento de la misma ayudaría a su protección y conservación, sobre todo entre las poblaciones aledañas a su hábitat. Por sus condiciones y características particulares *C. chihuahuensis* podría llegar a ser una especie emblemática con porte de identidad para la ciudad de Chihuahua. Sin embargo, se recomienda ampliar la investigación para formalizar su estatus, así como la difusión sobre la importancia de esta especie para el estado de Chihuahua.

## LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez, E., A. Mora-Olivo, J. Jiménez-Pérez, M.A. González-Tagle, J.I. Yerena-Yamalle, J.G. Martínez-Ávalos, & L.E. González-Rodríguez. 2015. Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Bot. Mex.* 110: 105–117.
- Anderson, E. 2001. *The Cactus Family*. Timber Press. Portland, Oregon, USA.
- Bravo-Hollis, H. & H. Sánchez-Mejorada. 1991. *Las Cactáceas de México*. Vol. II. Univ. Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Ditch, R. & A. Lüthy. 2005. *Coryphantha Cacti of México and Southern USA*. Springer, Alemania.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo de los Municipios (INAFED). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: Chihuahua. 2015. Chihuahua. <<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM08chihuahua/mediofisico.html>>
- Consejo Nacional Forestal. Comité Técnico de Protección y Conservación Forestal. Provincias y Subprovincias de México. 2015. <<https://proteccionforestal.files.wordpress.com/2011/09/anexo-4-provincias-y-subprovincias-fisiograficas-de-mexico.docx>>
- Estrada-Castillo E. & J.A. Villarreal-Quintanilla. 2010. Flora del centro del estado de Chihuahua, México. *Acta Bot. Méx.* 92: 51–118.
- Figuroa, M.E. & A.M. Giménez. 2015. Consideraciones ecológicas sobre una población de *Lycium athium* (Solanaceae) y ampliación de su área de distribución. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 50: 79–91.
- Gobierno del estado de Chihuahua. 2015. Cartografía de uso de suelo y vegetación del estado de Chihuahua. Secretaría de desarrollo rural. <<http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sdr/uploads/informeFinalCartografia.pdf>>
- Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, V. Granados, L. Ro, & A. Borja de la Rosa. 2011. Ecología de la vegetación del desierto Chihuahuense. *Revist. Chapingo Ser. Ci. Forest. Ambient.* 17: 111–130.
- Hernández, H. & H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot. Mex.* 26: 33–52.
- Ibarra-Díaz Velarde, I., T. Lebgue-Keleng, O. Viramontes-Olivas, I. Reyes-Cortés, J.A. Ortega-Gutiérrez, & C. Morales-Nieto. 2016. Modelo de Nicho Fundamental para *Coryphantha chihuahuensis* (Cactaceae) en el estado de Chihuahua, México. *Ecol. Apl.* 15: 11–17.

- IMPLAN (Instituto Municipal de Planeación Chihuahua). 2016. Plan de Desarrollo Urbano 2040 Quinta actualización. Chihuahua.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo de los Municipios (INAFED). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: Chihuahua. 2015. Chihuahua. <<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM08chihuahua/mediofisico.html>>
- Lara-Juárez, E.I., J. Treviño-Carreón, B. Estrada-Drouaillet, W.A. Poot-Poot, V. Vargas-Tristán & C. Ballesteros-Barrera. 2016. Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Revist. Mex. Agroecosist.* 3: 184–194.
- Lebgue–Keleng, T., O. Viramontes, R.A. Soto–Cruz, M. Quiñonez–Martínez, S. Balderrama–Castañeda, & Y.E. Aviña–Dominguez. 2011. Cactáceas endémicas y raras del estado de Chihuahua, México. *Tecnoci. Chihuahua* 1: 27–33.
- Lebgue, K.T. & G. Quintana. 2013. Cactáceas de Chihuahua (ed. 2). PISA e Instituto Chihuahuense de la Cultura. Chihuahua, Chih., México.
- López–Gómez, V., P. Zedillo–Avelleyra, S. Anaya–Hong, E. González–Loozada, & Z. Cano–Santana. 2012. Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Bot. Sci.* 90: 453–457
- Rocha–Loredo, A.G., N. Ramírez–Marcial, & M. González–Espinosa. 2010. Riqueza y diversidad de árboles del bosque tropical caducifolio en la Depresión Central de Chiapas. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 87: 89–103.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México (ed. 1, digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Sánchez, J., V. Molina, R. Pérez, F.M. Silva, E.S. Ortiz, & E. Jurado. 2011. Cambio climático: ¿Precursor de migración de especies vegetales en la montaña más alta del norte de México? *Ciencia UANL* 14: 137–143.
- Sosa, M., J.L. Galarza, T. Lebgue, R. Soto, & S. Puga. 2006. Clasificación de las comunidades vegetales en la región árida del estado de Chihuahua, México. *Ecol. Apl.* 5 (1 y 2): 53–59.
- Tropicos 2016. Tropicos.org: Nomenclatural, bibliographic, and specimen data accumulated in MBG's electronic databases. Missouri Botanical Garden. <<http://www.tropicos.org>>
- Valenzuela, L.M., J.C. Ríos, K.R. Barrientos, G. Muro, J. Sánchez, & E.A. Briceño. 2015. Estructura y composición florística en dos comunidades de Mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.) en Durango, México. *Inverciencia.* 40: 465–472.

Villanueva, R.M., M.C. Navarro, & H.R. Eliosa. 2016. Germinación de tres especies de cactáceas endémicas de México en condiciones asépticas. *Zonas Árid.* 16: 1–16.