

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

FUNDAMENTAL NICHE MODEL OF *Coryphantha chihuahuensis* (CACTACEAE) IN THE STATE OF CHIHUAHUA, MÉXICO

Irma Ibarra-Díaz Velarde¹, Toutcha Lebgue-Keleng², Oscar Viramontes-Olivas³, Ignacio Reyes-Cortes⁴, Juan A. Ortega-Gutierrez² y Carlos Morales-Nieto²

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 georeferenciaron 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, georeferencia, 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 & Eggerli, 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 & Dudík, 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; Plissock & Fuentes-Castillo, 2011). Para la modelación de nichos, Contreras-Medina *et al.* (2010), Ibarra-Montoya *et al.* (2012) y Plissock & 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 planes 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 (2014) 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 Rosetifolio, 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, 2014).

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 georeferenciaron (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 georeferenciado 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.* 2006; Wisz *et al.*, 2008; Mercado & Wallace, 2010; Pliscoff & Fuentes-

Tabla 1. Variables bioclimáticas utilizadas para la construcción de los modelos.

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).

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 (Tabla 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

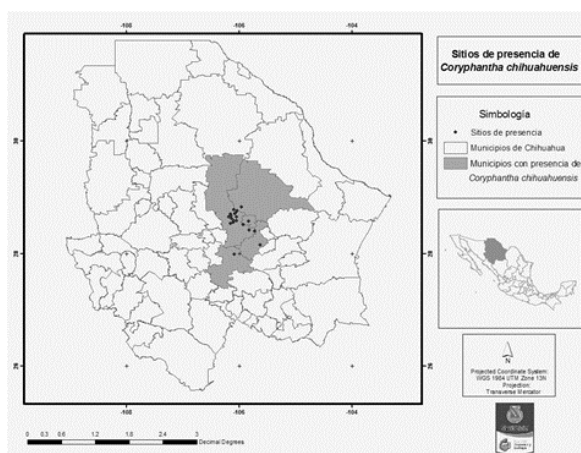


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y puntos de presencia de *Coryphantha chihuahuensis* en el estado y municipios de Chihuahua.

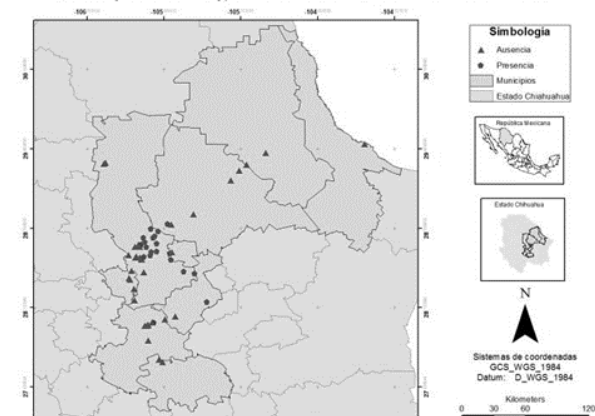


Figura 2. Presencia y ausencia de *Coryphantha chihuahuensis* en el estado de Chihuahua y sus municipios.

Tabla 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 – 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 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"

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 (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 (Tabla 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 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.

Tabla 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

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 (Tabla 3). Los tres modelos predicen y delimitan la distribución potencial de la especie al estado de Chihuahua, corroborando las observaciones hechas 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.

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

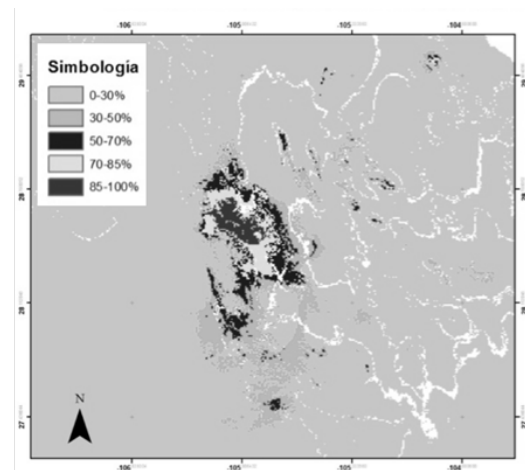


Figura 3A: Modelo 1. Variables bioclimáticas

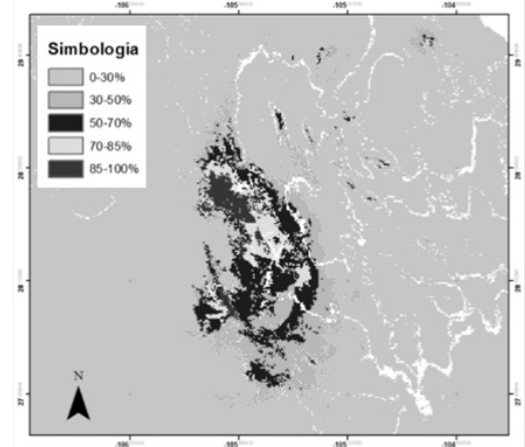


Figura 3B: Modelo 2. Variables bioclimáticas altura

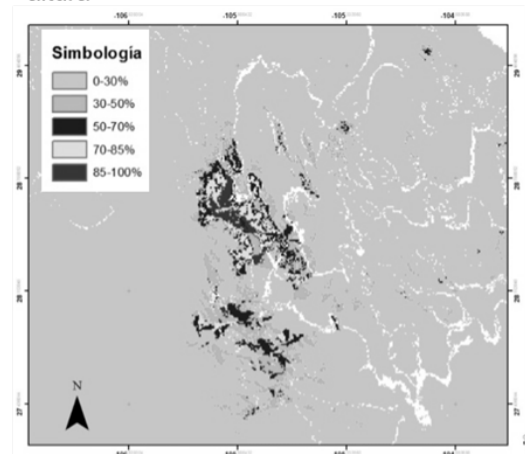


Figura 3C: Modelo 3. Variables bioclimáticas, altitud, edafología, usos de suelo y vegetación

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.

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 Rosetifolio 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.

Agradecimientos.

Este estudio no hubiera sido posible sin el apoyo financiero de Conacyt, por la beca recibida en los estudios de posgrado. Al Gobierno del Estado de Chihuahua y a la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, por proveer los medios necesarios para los recorridos de campo y la toma de datos.

Literatura citada.

Bravo-Hollis H. & Sánchez-Mejorada H. 1991. Las cactáceas de México vol. II. Editor Universidad Nacional Autónoma de México. México.
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. Revista chilena de historia natural. 83:421-433.
Estrada-Castillo E. & Villarreal- Quintanilla J.A. 2010. Flora del centro del estado de Chihuahua, México. Acta Botánica Mexicana. 92:51-118.

Hernández H., Gómez-Hinostroza C. & Goetsch B. 2004. Checklist of Chihuahuan Desert Cactaceae. Harvard Papers in Botany. 9: 51-68.
Hernández H., Gómez-Hinojosa C. & Hoffman G. 2010. ¿Es la rareza geográfica frecuente entre las cactáceas del Desierto Chihuahuense? Revista mexicana de Biodiversidad. 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.
Lebgue-Keleng T., Viramontes-Olivas O., Soto-Cruz R., Quiñonez-Martínez M., Balderrama-Castañeda S. & Aviña-Dominguez Y. 2011. Cactáceas endémicas y raras del estado de Chihuahua, México. Tecnociencia Chihuahua. 5(1):27-33.
Lebgue-Keleng T., Aviña-Dominguez Y., Soto-Cruz R., Quiñonez-Martínez M., Cortes-Palacios L., Melgoza-Castillo A., Morales-Nieto C., Vélez-Sánchez-Verín C. & Balderrama-Castañeda S. 2014. Soil mineralogy and its relationship with cacti species in southeastern Chihuahua, México. Ecología Aplicada. 13:205-209.
Lebgue & Quintana. 2014. Cactáceas de Chihuahua. Segunda edición. Chihuahua. México. Proveedor Integracional y Servicios Ambientales, Gustavo Quintana Martínez, Instituto Chihuahuense de la Cultura. Chihuahua, México.
Mercado N. & Wallace R. 2010. Distribución de primates en Bolivia y áreas prioritarias para su conservación. Tropical Conservation Science. 3:200-217.
Milesi F. A. & López de Casevave J. 2005. El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. Ecología Austral. 15:131-148.
Nyffeler R. & Egli U. 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. & Liria J. 2013. Modelos de nicho ecológico fundamental para especie del género *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). Revista Mexicana de Biodiversidad. 84: 600-611.
Peterson A. T., Papes M. & Soberón J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. Ecological Modelling. 213:63-72.
Phillips S., Anderson R. & Eschauer R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling. 190:231-259.
Phillips S. & Dudik M. 2008. Modeling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography. 31:161-175.
Plissock 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.
Potere D. 2008. Horizontal positional accuracy of Google Earth's high - resolution imagery archive. Sensors. 8:7973-7981.

-
- Prado A., Hawkins J., Yesson C. & Bárcenas R. T. 2010. Multiple diversity measures to identify complementary conservation areas for Baja California peninsular cacti. *Biological Conservation*. 143:1510-1520.
- Soberón J. & Peterson T. 2011. Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82:1348-1355.
- Wisz M.S., Hijmans R.J., Li J., Peterson A.T., Graham, A. Guisan C.H. & NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*. 14: 763–773.

¹ Estudiante de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1, Chihuahua, Chih. México, CP. 31031. kidv5@hotmail.com; 52-614-434 03 04.

² Profesor-Investigador de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1, Chihuahua, Chih. México, CP. 31031. tlebgue@uach.mx; jortega@uach.mx; cnieto@uach.mx; 52-614-434 03 04.

³ Profesor-Investigador de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito Universitario #1, Nuevo Campus Universitario, Chihuahua, Chih. México, CP. 31125. oviramon@uach.mx; 52-614- 442 00 30.

⁴ Profesor-Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito universitario s/n Campus II, Chihuahua, Chih. México, CP. 31325. iareyes2020@gmail.com; 52-614-442 95 00.