



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

MODELACIÓN DEL NICHU ECOLÓGICO DE *YUCCA* (ASPARAGACEAE,
AGAVOIDEAE) PARA EVALUAR CATEGORÍAS DE RIESGO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

ADRIANA CABALLERO VILLALPANDO

DIRECTORA DE TESIS:

M. EN C. MARÍA

MAGDALENA AYALA HERNÁNDEZ

PROYECTO APOYADO POR DGAPA-PAPIIT IN214318



CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la FES Zaragoza, por abrirme sus puertas y permitirme formarme como profesional dentro de sus aulas a lo largo de todos estos años, por brindarme la oportunidad de conocer a todas las personas que hoy son esenciales en mi vida, por todas las experiencias vividas, por permitirme conocerme y forjar el carácter para ponerme a prueba y superar mis propios límites. No tengo palabras para terminar de agradecer todo lo que me has otorgado, todo lo que sé y lo que soy te lo debo a ti, mi amada UNAM.

A la DGAPA-PAPIIT convenio IN214318 por apoyar este proyecto.

A la M. en C. María Magdalena Ayala Hernández por haberme inspirado a explorar el campo de la botánica, por apoyarme durante el desarrollo de este trabajo, por las experiencias vividas en las salidas al campo, las pláticas, por su confianza, así como su disposición para solucionar los problemas que se presentaron en el camino. Le agradezco su apoyo y dedicación.

Al Dr. Ezequiel Hernández Pérez por toda su ayuda en la elaboración de este trabajo porque aún sin conocerme me ofreció su apoyo y siempre estuvo en la disposición de auxiliarme, porque siempre tuvo más de una solución a cada problema que tuve en este camino. Sin su ayuda y conocimiento nada de esto hubiera sido posible. Es usted un gran profesionalista y una excelente persona. Cuenta con mi lealtad, gratitud y afecto.

Al Dr. Eloy Solano Camacho† por permitirme ingresar a su unidad de investigación, por compartir sus conocimientos y anécdotas, por estar al pendiente siempre de mi avance y especialmente por dedicarle tiempo a la revisión y perfeccionamiento de este trabajo. Me entristece profundamente que no pudiese estar en mi examen para felicitarme o regañarme, aunque me consuela un poco saber que sí leyó mi tesis. No tiene idea del vacío, la conmoción y la tristeza que dejó su partida, pero ¿sabe? Sus ideas, su arduo trabajo, su pasión por la botánica y su peculiar sentido del humor prevalecerán en los alumnos de su laboratorio y eso nunca nadie se lo va a quitar. De verdad espero que si realmente existe un lugar al que se va después de

la muerte esté pleno, feliz, rodeado de sus amados *Polianthes* y con un buen mezcal.

Al M. en C. Genaro Montaña Arias por tomarse el tiempo de revisar mi escrito y corregirlo de manera objetiva y enriquecedora, agradezco mucho la forma dinámica en que lo hizo porque me facilitó ver mi trabajo desde otras perspectivas que no había considerado.

Al Dr. Carlos Castillejos Cruz por sus aportaciones en la revisión de mi escrito y por haber sido uno de los mejores profesores que tuve en la carrera.

Al Dr. Carlos Yañez Arenas por toda la información proporcionada durante el curso de Modelado de Nichos Ecológicos y Áreas de distribución, por ayudarme a entender mejor el abstracto mundo de los nichos y abrirme el panorama de todo lo que se puede hacer con esta temática. Ahora me siento digna y adoctrinada para formar parte de la Escuela Guadalupana de Nichos. Espero que podamos trabajar juntos en futuros proyectos. Gracias Lichos.

Al M. en C. Faustino López Barrera por apoyarme con el equipo de cómputo y estar al pendiente de mi trabajo, sin su ayuda no hubiese podido avanzar. Espero que pueda seguir compartiendo experiencias y eventos con usted.

Al M. en C. Ramiro Ríos Gómez por compartir su conocimiento tanto en las aulas como en las salidas al campo, por siempre tener la disposición de enseñar, por ser una inspiración como persona y profesor.

A la Maestra María de la Luz por su apoyo durante toda mi estancia en el herbario, por facilitarme los materiales para las salidas al campo, por preocuparse por el avance de mi trabajo y por los aventones a mi casa, muchísimas gracias, maestra.

Al Biol. Marco Antonio Muñoz Hernández, ¡mi querido super profel!, por todas las pláticas en el herbario donde me compartía sus conocimientos y experiencias de vida, por siempre hacerme reír. Lo quiero mucho y le prometo que le voy a reponer el libro que le rompí, le juro que fue un accidente.

A la M. en C. Gloria Ponce García porque su trabajo fue fundamental para mi investigación. Aunque no me conozca estoy muy agradecida con usted.

Al M. en C. Edgar Iván Torres Corioriles por todo tu apoyo durante el servicio social, por siempre facilitarme todo lo que necesité para concluirlo, pero sobre todo por brindarme tu amistad. Créeme que nunca pensé que terminarías convirtiéndote en una de mis personas favoritas. Te quiero a pesar de que no me creías que en algún momento este día llegaría, te lo dije.

A mis amigos de toda la carrera Ulises Reyes (mi Kong), Mabel Nolasco (mi chavita) y Damaris Hernández (mi karma) por aguantarme durante todos estos años, por creer en mí aun cuando yo a veces no lo hago, por ser mis confidentes, por todo su apoyo y cariño. Ustedes me han ayudado mucho a crecer como persona. De este logro ustedes son parte muy importante. Los quiero muchísimo.

A Karen Martínez Morales, por tu amistad a partir de mis últimos años de la carrera, por tu comprensión y motivación en los momentos en los que ya no quería continuar, por las largas pláticas, por ser un soporte fundamental en mi vida. Te adoro, bebé. Eres como mi pequeña hermanita.

Al Biol. Luis Morales Garduño por todo lo que hemos compartido desde que llegamos al herbario, por ser mi compañero, mi amigo y confidente. Sé que mis mejores y peores momentos te tocaron a ti y a pesar de todo jamás te fuiste, nunca me dejaste sola, siempre estuviste para mí, para escucharme, para darme un abrazo o para buscar una solución, créeme que eso lo valoro mucho. Hemos pasado por muchas cosas, hemos tenido tantos problemas, pero aquí seguimos y espero que continuemos todavía mejor. Te llevo en mi frío corazón, amigo.

A Kevin Lara García por tu apoyo y motivación, por las charlas interesantes sobre las lecturas que nos gustan, por prestarme tus libros, por tus palabras de aliento en los momentos difíciles durante esta pandemia. Eres el favorito.

DEDICATORIA

A mi mamá, doña Marina Villalpando Ruperto, porque a pesar de que no siempre estás de acuerdo con mis decisiones nunca has dejado de apoyarme ni me has cortado las alas para dejarme crecer, por impulsarme a tomar nuevos retos. Sé que no soy una persona fácil, que mi carácter no es el más dócil, pero te juro que te amo con todo mi corazón y siempre voy a estar ahí para protegerte. Gracias por todo lo que has hecho por mis hermanos y por mí, aunque no alcancen las palabras para agradecer todos tus sacrificios.

A mi hermano Francisco Javier Caballero Villalpando por ser mi cómplice, mi protector, porque no puedo recordar un solo momento importante de mi vida en el que no hayas estado tú, por cuidarme como si yo fuera tu responsabilidad, pocos habrían hecho lo que tú. Espero algún día poderte regresarte aunque sea un poco de todo lo que has hecho por mí. Sé que Regi no pudo tener mejor papá.

A mi hermana Ana Lilia Caballero Villalpando por apoyarme y ayudarme durante toda mi vida, por hacerme reír con todas las tragedias de tu vida, por estar siempre al pendiente de nosotras. Aunque no te lo diga sabes que te quiero y que no hay nada que no haría por ti y por Mailo.

A mi preciosa sobrina Regina Caballero, porque tú eres la luz de mi vida y mi motivación para ser una mejor persona. Aún eres pequeña, pero espero que si algún día lees esto estés muy orgullosa de mí. Te amo con todo mi corazón.

A mis tíos María Luisa† y Francisco Villalpando Ruperto† por siempre estar en nuestros momentos más importantes. Es una lástima que no hayan podido presenciar este logro, pero siempre los llevo conmigo.

A Gabriela Salas Olvera, porque contigo aprendí que los amigos son esa otra familia que se elige, porque tú eres esa otra hermana que nunca quise tener pero que no sabía que necesitaba, tú también eres mi familia. Gracias por siempre estar conmigo para bien y para mal, por tu lealtad, por motivarme, por levantarme, simplemente por estar, por no irte y sobre todo por soportarme en mis peores momentos y no dejarme sola. Te amo mi grumosa.

*A la memoria del Dr. Eloy Solano
Camacho*



La muerte no es verdad cuando se ha cumplido bien la obra de la vida

José Martí

La cuestión que decidirá nuestro destino no es si vamos a ampliar el espacio.

Es: ¿seremos una especie o un millón? Un millón de especies que no se agotarán los nichos ecológicos que están a la espera de la llegada de la inteligencia.

-Freeman Dayson

CONTENIDO

| | Páginas |
|---|----------------|
| RESUMEN | 1 |
| I INTRODUCCIÓN | 2 |
| II ANTECEDENTES | 4 |
| 2.1 Historia de los modelos y concepto de nicho ecológico | 4 |
| 2.2 Diagrama de BAM | 5 |
| 2.3 Métodos de modelado | 6 |
| 2.4 MaxEnt | 8 |
| 2.5 Aplicaciones de los ENM y SDM | 9 |
| 2.6 Método de Evaluación de Riesgo (MER)..... | 10 |
| 2.7 Estudios de modelos de nicho y evaluación de categorías de riesgo | 11 |
| 2.8 Características del género <i>Yucca</i> L..... | 12 |
| III JUSTIFICACIÓN | 13 |
| IV HIPÓTESIS..... | 14 |
| V OBJETIVOS..... | 14 |
| 5.1 Objetivo general | 14 |
| 5.2 Objetivos particulares | 14 |
| VI MATERIAL Y MÉTODOS..... | 14 |
| 6.1 Trabajo de campo y herbario..... | 14 |
| 6.2 Obtención de los datos de presencia | 16 |
| 6.3 Modelación del nicho ecológico, reducción del área de ocupación (<i>M</i>)..... | 16 |
| 6.4 Depuración final de la base de datos | 18 |
| 6.5 Selección de las variables ambientales..... | 18 |
| 6.6 Elaboración de los modelos de nicho | 20 |
| 6.7 Validación de los modelos..... | 21 |

| | |
|--|-----|
| 6.8 Obtención de los puntajes del MER para asignar las categorías de riesgo..... | 22 |
| VII RESULTADOS..... | 25 |
| 7.1 Registros de presencia..... | 25 |
| 7.2 Perfil bioclimático | 26 |
| 7.4 Modelos de nicho ecológico | 27 |
| 7.4 Validaciones..... | 43 |
| 7.5 Asignación de categorías de riesgo | 45 |
| VIII DISCUSIÓN..... | 47 |
| 8.1 Modelos de nicho ecológico | 47 |
| 8.2 Análisis del Método de Evaluación de Riesgo (MER) | 54 |
| IX CONCLUSIONES | 56 |
| X LITERATURA CITADA..... | 58 |
| ANEXO I. PERFILES BIOCLIMÁTICOS PARA LAS ESPECIES DE <i>Yucca</i> ANALIZADAS..... | 78 |
| ANEXO II. COMPONENTES PRINCIPALES POR ESPECIE Y GRÁFICAS DE INFLUENCIA..... | 87 |
| ANEXO III. GRÁFICAS DE LAS VALIDACIONES GENERADAS POR MaxEnt. | 113 |
| ANEXO IV. CRITERIOS DEL MER POR ESPECIE | 118 |

CUADROS Y FIGURAS

| Cuadros | Páginas |
|---|----------------|
| 1. Algunos algoritmos empleados en el modelado de nicho ecológico y áreas de distribución..... | 6 |
| 2. Variables bioclimáticas de WorldClim utilizadas para generar los modelos de distribución de la sección <i>Yucca</i> | 17 |
| 3. Variables bioclimáticas utilizadas para elaborar los modelos de nicho ecológico. | 19 |
| 4. Criterio A. Extensión del área de distribución..... | 23 |
| 5. Asignación de las categorías de riesgo según el MER. | 24 |
| 6. Número de Registros de la sección <i>Yucca</i> | 25 |
| 7. Calibraciones, datos de prueba y desviación estándar de los modelos según MaxEnt. | 43 |
| 8. Sumatoria de los criterios del MER. | 44 |
| Figuras | |
| Figura 1. Diagrama BAM según Soberón y Peterson (2005). | 5 |
| Figura 2. Distribución potencial de <i>Yucca arizonica</i> | 28 |
| Figura 3. Distribución potencial de <i>Yucca baccata</i> | 29 |
| Figura 4. Distribución potencial de <i>Yucca carnerosana</i> | 30 |
| Figura 5. Distribución potencial de <i>Yucca decipiens</i> | 31 |
| Figura 6. Distribución potencial de <i>Yucca faxoniana</i> | 32 |

| | |
|--|----|
| Figura 8. Distribución potencial de <i>Yucca gloriosa</i> | 34 |
| Figura 9. Distribución potencial de <i>Yucca grandiflora</i> | 35 |
| Figura 10. Distribución potencial de <i>Yucca guatemalensis</i> | 36 |
| Figura 11. Distribución potencial de <i>Yucca jaliscensis</i> | 37 |
| Figura 12. Distribución potencial de <i>Yucca lacandonica</i> | 38 |
| Figura 13. Distribución potencial de <i>Yucca madrensis</i> | 39 |
| Figura 14. Distribución potencial de <i>Yucca mixteca</i> | 40 |
| Figura 15. Distribución potencial de <i>Yucca periculosa</i> | 40 |
| Figura 16. Distribución potencial de <i>Yucca schidigera</i> | 41 |
| Figura 17. Distribución potencial de <i>Yucca schottii</i> | 42 |
| Figura 18. Distribución potencial de <i>Yucca treculeana</i> | 43 |

RESUMEN

Se modeló el nicho ecológico de 17 especies de la sección *Yucca* con distribución principal en México. Se elaboró una base de datos con 2193 registros obtenidos mediante salidas al campo, información contenida en ejemplares de herbario y bases de datos. Se emplearon 19 variables bioclimáticas contenidas en Worldclim, seleccionadas para cada especie mediante un Análisis de Componentes Principales. Los modelos de distribución se generaron con el algoritmo MaxEnt y se proyectaron en el programa ArcGis 10.5. Las áreas de distribución potencial de las especies se registraron principalmente en el norte de la República Mexicana y el sureste de Estados Unidos de América, asociadas con temperaturas medias de los meses más cálidos y precipitaciones de los meses más húmedos. Este resultado posiblemente se debe a que, si bien la mayoría de las especies se localizan en zonas áridas y semiáridas, otras habitan regiones montañosas o en las transiciones entre áreas áridas y bosques tropicales o templados. Se asignaron las categorías de riesgo a ocho especies de la sección *Yucca* por medio del MER (Método de Evaluación de Riesgo) propuesto por la SEMARNAT. *Yucca lacandonica* está en peligro de extinción (P), *Y. grandiflora*, *Y. jaliscensis* y *Y. mixtecana* están amenazadas (A), mientras que, *Y. carnerosana*, *Y. decipiens*, *Y. filifera* y *Y. periculosa* corresponden a protección especial (Pr).

I INTRODUCCIÓN

Los seres vivos se distribuyen en casi cualquier región del planeta; sin embargo, su distribución no es homogénea pues los diversos factores que influyen en la misma son determinantes en la persistencia y evolución de éstos. Cada organismo ocupa un espacio geográfico definido que está determinado por distintos factores históricos, ecológicos y fisiológicos que varían a lo largo de la distribución, sometiendo a las especies a diferentes condiciones bióticas y abióticas (Grinnell, 1917; Maciel-Mata *et al.*, 2015). En este sentido, el área de distribución de cada especie se restringe en función de su tolerancia ambiental, producto de distintos procesos evolutivos que han modificado a los organismos y en consecuencia determinan su presencia en ciertas áreas (Wiens y Graham, 2005).

Uno de los métodos que permite determinar las áreas de distribución de las especies corresponde a los modelos de nicho ecológico (Peterson, 2001; Soberón y Peterson, 2005; Soberón y Nakamura, 2009; Ibarra-Montoya *et al.*, 2010). Estos modelos utilizan registros puntuales de presencia-ausencia de una especie e información de variables abióticas, con la finalidad de establecer la relación que existe entre dichos registros y las variables climáticas o ambientales, de esta relación se estiman los sitios que pueden representar la distribución potencial de una especie determinada (Peterson, 2001). Las plantas se desarrollan en ciertos intervalos de amplitud ecológica y los factores ambientales que determinan su distribución son principalmente la temperatura, humedad y precipitación (Leal-Nares *et al.*, 2012; Guitérrez y Trejo, 2014).

Entre los campos de aplicación más utilizados de los modelos de distribución de especies se encuentran el análisis de la distribución potencial de comunidades (Maggini *et al.*, 2006), los efectos del cambio climático (Felicísimo *et al.*, 2011, Loarie *et al.*, 2009), patrones de diversidad (Ferrier *et al.*, 2007; Hortal, 2008) y estudios de conservación (Rissler *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2007). Otra de las aplicaciones de estos modelos es en la biología de la conservación, para asignar categorías de riesgo a especies mexicanas tanto de vegetales como de animales (Solano y Feria, 2007; Serrano-Rodríguez *et al.*, 2017), por medio del Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) (SEMARNAT, 2010). Esta herramienta permite a la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), identificar y enlistar las especies en riesgo que se distribuyen en el territorio mexicano, especialmente las endémicas. En la actualidad cuatro especies del género *Yucca* están en la NOM-059, *Y. endlichiana* (Pr), *Y. grandiflora* (Pr), *Y. lacandonica* (A) y *Y. queretaroensis* (Pr).

Con base en lo anterior, estudiar el nicho ecológico de las especies que conforman la sección *Yucca* permitirá conocer los factores ambientales que influyen en su distribución, dado que no todas habitan en regiones áridas o semiáridas, pues algunas otras se localizan en bosques tropicales o de pino-encino. Además, este estudio contribuirá en la conservación de algunas de estas plantas que son endémicas de México al asignar categorías de riesgo con base en el MER.

II ANTECEDENTES

2.1 Historia de los modelos y concepto de nicho ecológico

Con base en la información cartográfica que se generaba a principios del siglo XX, la geobotánica relacionó la repartición geográfica de las plantas con la distribución espacial del clima. No obstante, fue en la ciencia ecológica donde surgió el concepto de nicho ecológico con los estudios de Johnson (1910), Grinnell (1917-1928) y Elton (1927), quienes buscaban determinar el papel de las especies con respecto a su hábitat (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

Johnson (1910) introdujo el concepto de nicho en el ámbito ecológico y lo definió como el lugar que ocupa una especie en un espacio delimitado. Sin embargo, Grinnell (1928) conceptualizó al nicho ecológico como “la unidad de distribución mínima dentro de la cual cada especie se mantiene, debido a sus limitaciones instintivas y estructurales”, de acuerdo con su definición, este autor se refiere al microhábitat o al nicho espacial. Elton (1927) concibió el nicho como el papel funcional que tiene una especie animal en su comunidad, diferenciándolo del concepto de hábitat, lo relacionó con el nivel trófico y actualmente se reconoce como nicho trófico. Hutchinson (1957) visualizó el nicho como un hipervolumen o espacio multidimensional, donde el individuo o la especie tienen todos los factores bióticos y abióticos para supervivir indefinidamente.

Hutchinson (1965) distinguió entre nicho ecológico fundamental y realizado, el primero es el hipervolumen habitado de forma abstracta, en ausencia de competencia u otras interacciones bióticas limitantes, el segundo cuando no reúne los factores ambientales anteriores. El nicho ecológico fundamental o potencial, se

refiere al área donde las variables ambientales son propicias para que una especie habite exitosamente, también conocida como extensión de presencia (EOO por sus siglas en inglés); en cambio, el nicho ecológico realizado es el espacio geográfico específico que ocupa un taxón o área de ocurrencia (AOO por sus siglas en inglés) (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011; UICN, 2019).

2.2 Diagrama de BAM

Con la finalidad de ejemplificar los factores que influyen en la distribución de las especies, Soberón y Peterson (2005) diseñaron el diagrama BAM (Fig. 1), en el cual se representan las tolerancias a las condiciones ambientales o nicho ecológico fundamental (A), factores bióticos, como polinizadores, dispersores y depredadores entre otros (B), y que tanto A como B hayan estado disponibles para que la especie se disperse desde su región de origen (M). La intersección de A, B y M, conforman P, que representa la extensión geográfica del nicho realizado o la distribución geográfica de la especie.

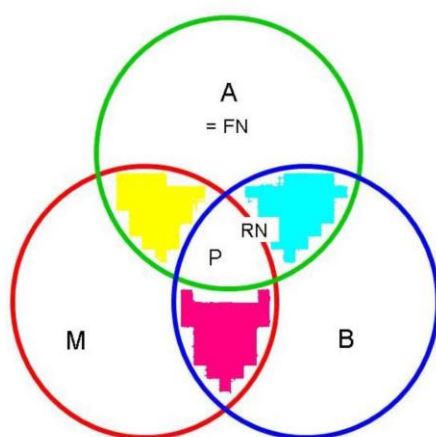


Figura 1. Diagrama BAM según Soberón y Peterson (2005).

Este diagrama permitió esclarecer la diferencia entre modelar el nicho ecológico y la distribución de las especies. Los modelos de nicho ecológico (ENM

por sus siglas en inglés) (*Ecological Niche Modeling*) configuran las condiciones ambientales en el espacio ecológico (E) y pueden proyectarse en el espacio geográfico (G), mientras que los modelos de distribución de especies (SDM por sus siglas en inglés) (*Species Distribution Modeling*) son subconjuntos de G que sólo modelan objetos en esta región y pueden interpretarse como áreas de distribución potencial, pues no consideran las interacciones que ocurren en B y M (Soberón y Nakamura, 2009; Peterson *et al.*, 2011; Peterson y Soberón, 2012; Saube *et al.*, 2012; Qiao *et al.*, 2015; Soberón *et al.*, 2017).

2.3 Métodos de modelado

Se han desarrollado diversos enfoques para modelar nichos y áreas de distribución de especies. Estos métodos pueden utilizar diferentes datos de entrada, algunos requieren registros de sólo presencia, otros utilizan presencias/ausencias, también pueden emplear presencias/pseudoausencias o incluir datos de presencia/entorno. Estas herramientas incorporan datos ambientales a diferentes escalas espaciales para generar los modelos. En el cuadro 1 se muestran algunos de los algoritmos más utilizados, sin embargo, existe un gran número de métodos que se siguen explorando en la modelación de SDM y ENM (Elith *et al.*, 2006; Illoldi-Rangel y Escalante, 2008; Franklin, 2009).

Cuadro 1. Algunos algoritmos empleados en el modelado de nichos ecológicos y áreas de distribución.

| Algoritmos | Tipo de modelo | Datos de entrada |
|------------|------------------------|------------------|
| BIOCLIM | Envolturas Ambientales | Sólo presencia |

| | | |
|--|--|---|
| DOMAIN, LIVES, Biomapper | Distancias Ambientales | Sólo presencia |
| GAM, GLM, MARS | Regresiones | Presencia/ausencia |
| GARP | Algoritmos genéticos | Presencia/pseudoausencia |
| ENFA, <i>Climate Space Model (PCA), Multiple Discriminant Analysis</i> | Estadística multivariada | Presencia/entorno |
| Redes neuronales (ANN), BRT, MaxEnt | Inteligencia Artificial (<i>machine learning</i>) | Presencia/ausencia Presencia/entorno |

Los algoritmos de envolturas ambientales como BIOCLIM (Busby, 1991), emplean un clasificador denominado “hiper-box”, donde está el 95% de los registros de presencia, para “encerrar” a la especie dentro de sus rangos de tolerancia climática, e identificar áreas con climas similares; esto da como resultado un modelo binario de idoneidad. En los modelos de distancias ambientales, entre ellos DOMAIN (Carpenter *et al.*, 1993), se implementan métricas de similitud como distancias de Mahalanobis, Euclídiana o de Gower, entre otras, que evalúan la proximidad de las variables ambientales de los nuevos sitios para estimar áreas idóneas.

Con respecto a los métodos de regresión están los Modelos Generalizados Lineales (GLM por sus siglas en inglés) (*Generalised Linear Models*) que ajustan funciones no lineales; los Modelos Generalizados aditivos (GAM por sus siglas en inglés) (*Generalised Additive Models*) que adecúan combinaciones de diferentes

términos lineales y *Splines* de Regresión Adaptativa Multivariada (MARS por sus siglas en inglés) (*Multivariate Adaptive Regression Splines*) el cual funciona de manera similar a un GLM, sólo que emplea ajustes lineales por partes, con la finalidad de obtener modelos de distribución.

El algoritmo genético más reconocido es GARP (*Genetic Algorithm for Rule set Production*, Stockwell y Peters, 1999), que aplica un conjunto de reglas (algunas de éstas similares a las de BIOCLIM), tanto a las variables como a los datos de presencia para predecir la probabilidad de ocurrencia de una especie. Otros métodos de modelado son los de análisis multivariados, como ENFA (Hirzel *et al.*, 2002), el cual se basa en el concepto de nicho ecológico de Hutchinson y compara el espacio de las variables de los sitios de presencia de la especie con los datos de entorno a partir de una referencia para describir toda la región de estudio.

Uno de los métodos que más se ha usado dentro de los SDM y ENM corresponde a los de inteligencia artificial (también llamados modelos de *machine learning*) que aprenden una función a partir de los datos de presencia para generar un modelo de distribución. El más comúnmente empleado en los últimos años ha sido MaxEnt (máxima entropía, Phillips *et al.*, 2006), que ha mostrado una alta confiabilidad en sus predicciones.

2.4 MaxEnt

Es un algoritmo que estima la probabilidad de presencia de un organismo en el espacio ambiental, minimizando la entropía relativa entre las densidades de probabilidad de los datos de presencia y de entorno para proyectar esta información en el espacio geográfico. MaxEnt parte de la hipótesis de que una especie puede

ocupar condiciones ambientales en función de su disponibilidad en el entorno que representa todos los sitios accesibles para la dispersión de la especie. Sin embargo, no se puede detectar la prevalencia de una especie sólo a partir de datos de presencia. Además de los registros de presencia y un conjunto de covariables, MaxEnt emplea datos de *background*, también llamados datos de fondo, a partir de los cuales obtiene información sobre el conjunto de condiciones ambientales disponibles en la región modelada, con el objetivo de identificar las áreas más idóneas para la especie (Phillips *et al.*, 2009; Elith *et al.*, 2011).

MaxEnt ha sido ampliamente utilizado para generar modelos de distribución potencial (Warren y Seifert, 2011) debido a las ventajas que ofrece (Baldwin, 2009; Cunze y Tackenberg, 2015), entre ellas, requiere únicamente datos de presencia y variables continuas y/o categóricas; indica la influencia de cada variable en la idoneidad; genera un modelo a partir de pocos registros (Baldwin, 2009); es un algoritmo confiable estadísticamente y además evita el sobreajuste (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006; Terribile *et al.*, 2010).

2.5 Aplicaciones de los ENM y SDM

En las últimas décadas los modelos correlativos que predicen sitios adecuados con base en características ambientales, han tomado mayor relevancia y han mejorado los métodos de modelado, también ha influido el desarrollo de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) que ayudan a visualizar y proyectar la distribución de las especies en el espacio geográfico, la disponibilidad de las bases de datos y al fortalecimiento conceptual de las teorías ecológicas predictivas, incrementando las

aplicaciones de estas herramientas (Benito y Peñas, 2007; Mota-Vargas *et al.*, 2019).

Los ENM y SDM han sido utilizados ampliamente para analizar la distribución geográfica que ocupa una especie determinada (Sierra-Morales *et al.*, 2016), inferir el área de distribución potencial y actual de diversas especies (García-Aranda *et al.*, 2012; Leal-Nares *et al.*, 2012; Botello *et al.*, 2015), reconocer patrones biogeográficos (Pérez-García y Liria, 2013; Guevara, 2020), conservadurismo de nicho (Hawkins *et al.*, 2006; Jakob *et al.*, 2010; Pyron *et al.*, 2014), estudios filogeográficos (Chan *et al.*, 2011; Alvarado-Serrano y Knowles, 2014; Alercia *et al.*, 2017), delimitar especies con base en sus nichos fundamentales (Martínez-Méndez *et al.*, 2016), en paleodistribuciones (Guevara y Paniagua, 2019; Yousefi *et al.*, 2020), evaluar el efecto del cambio climático sobre la biodiversidad (Quesada-Quirós *et al.*, 2017; Stranges *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2019), identificar áreas potenciales para especies invasoras (Aragón *et al.*, 2010; Barbet-Massin *et al.*, 2018; Castaño-Quintero *et al.*, 2020), sugerir áreas de conservación (Urbina-Cardona y Flores-Villela, 2010; Guisan *et al.*, 2013), analizar categorías de riesgo (Solano y Feria, 2007; Ballesteros-Barrera *et al.*, 2017), entre otras aplicaciones que aún se siguen explorando.

2.6 Método de Evaluación de Riesgo (MER)

El MER es una herramienta que evalúa el estado de conservación de las especies de plantas, animales y hongos en México, considera cuatro criterios para asignar categorías de riesgo: A. Amplitud de la distribución del taxón en México, B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón, C. Vulnerabilidad biológica

intrínseca del taxón y D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón. Cada criterio es independiente y tiene un valor máximo de 11, 9, 23 y 10 respectivamente, que se ajustan a un valor máximo de uno. Con base en la sumatoria de cada subcriterio el resultado final coloca a los taxones bajo estudio en alguna de las tres categorías de riesgo: Sujeta a protección especial (Pr), Amenazada (A) y En peligro de extinción (P).

Las especies que resulten vulnerables según la evaluación del MER se incluyen en el listado de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. El MER se aplica para asignar categorías de riesgo tanto en plantas como en animales, pero en ambos grupos se utilizan diferentes datos (SEMARNAT, 2010).

2.7 Estudios de modelos de nicho y evaluación de categorías de riesgo

Los estudios de nicho ecológico para analizar categorías de riesgo son muy escasos. Dentro de la subfamilia Agavoideae Solano y Feria (2007), estimaron las áreas de distribución de *Polianthes* para evaluar el riesgo de extinción de sus especies con tres métodos distintos. Además, identificaron áreas de riqueza y endemismo. En la familia *Cactaceae* Ballesteros-Barrera *et al.*, (2017), analizaron la distribución potencial de nueve especies del género *Ferocactus* que ya se encuentran dentro de la norma para estimar el área que ocupan dentro de un Área Natural Protegida. En *Meliaceae* se realizaron los modelos de nicho para estimar la distribución histórica, potencial y futura de *Cedrela odorata* e identificar áreas de conservación y cultivo (Hernández *et al.*, 2018). En relación con la evaluación de categorías de riesgo con base en el MER, Carillo (2018) determinó que *Polianthes*

geminiflora es una especie amenazada, mientras que el resto de las especies del género están en peligro de extinción.

2.8 Características del género *Yucca* L.

Este género está conformado por 52 especies (Ayala-Hernández com. pers.) de las cuales 29 se localizan en México y representan el 60% de su riqueza; además, el 50% de éstas son propias de este territorio (García-Mendoza, 2011). Las yucas se distribuyen desde el sur de Alberta en Canadá, hasta el norte de Centroamérica (Engelmann, 1878; Speirs, 1979; Pellmyr *at al.*, 2007). La mayoría de las especies se localizan en las zonas áridas y semiáridas de México y Estados Unidos de América, en climas áridos (Bw) y semiáridos (Bs) de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973) (Matuda y Piña, 1980). Habitan en suelos poco profundos, en un intervalo altitudinal que va de los 500 a los 2400 m (Granados-Sánchez y López-Ríos, 1998).

De acuerdo con el tipo de fruto *Yucca* está dividido en tres secciones: *Clistoyucca* (*Y. brevifolia*, fruto seco, esponjoso), *Chaenoyucca* (fruto capsular dehiscente) y *Yucca* (fruto carnoso) (Engelmann, 1871; 1878; Baker 1880; Trelease, 1902; McKelvey, 1938;1947). Esta última sección está conformada por 22 a 25 especies (Clary, 1997; The Plant List, 2013), todas ellas se distribuyen en México, en zonas áridas y semiáridas, excepto *Yucca gloriosa* que se localiza en el sur de Estados Unidos de América. Sin embargo, las características morfológicas de este género indican que su distribución era más amplia, pero se redujo hacia las zonas áridas en donde la competencia con otros organismos es menor (Trelease 1902-1911; Webber, 1953; Matuda y Piña, 1980).

Las yuccas son plantas acaules o semiacuales, con tallos cortos, simples o ramificados, usualmente arborescentes; hojas generalmente rígidas cartáceas o engrosadas, a menudo con una espina apical; inflorescencias paniculadas, flores frecuentemente blancas, estambres 6, ovario súpero, fruto seco o carnoso y semillas negras (Galván, 2001; García-Mendoza, 2011). Para algunas culturas norteamericanas las especies de este género han sido importantes porque se aprovecha toda la planta, por ejemplo, las fibras se han empleado para elaborar costales, cordeles, ropa, calzado o bolsos (Webber, 1953; Rzedowski, 2006); los tallos y las hojas de *Yucca filifera* y *Y. decipiens* se usan para construir casas y corrales; algunos frutos y flores se consumen como alimento, entre otros usos; algunas especies son ceremoniales y ornamentales (Matuda y Piña, 1980).

III JUSTIFICACIÓN

Yucca es un género de importancia ecológica, económica y cultural, con alta representatividad y número de especies endémicas en México, por lo que es necesario conocer algunos de los factores que influyen en la distribución, abundancia y estatus ecológico de sus especies. Por ello, en este estudio se realizó la modelación del nicho ecológico de las especies de *Yucca* sección *Yucca*. Además, mediante la identificación de especies en riesgo de acuerdo con el MER, la presente investigación permitirá realizar estudios posteriores en relación con la conservación de las áreas donde se distribuye este grupo de plantas.

IV HIPÓTESIS

Las especies de *Yucca* sección *Yucca* que se localizan en zonas áridas y semiáridas ocuparán áreas climáticas más similares entre ellas que aquellas que se localizan en zonas templadas. Además, aquellas especies con distribución geográfica restringida, hábitats modificados, poblaciones reducidas y con algún uso, tendrán categorías con mayor nivel de riesgo.

V OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar mediante la modelación del nicho ecológico y el MER las categorías de riesgo de las especies de *Yucca* sección *Yucca*.

5.2 Objetivos particulares

Examinar las condiciones bioclimáticas que influyen en la distribución de las especies de *Yucca* sección *Yucca*.

Estudiar la distribución potencial de las especies que conforman la sección *Yucca*.

VI MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Trabajo de campo y herbario

Con la finalidad de observar a las especies de la sección *Yucca* en su hábitat natural y recolectar especímenes, se realizaron 12 salidas al campo en Estados Unidos de América y México desde agosto de 2017 hasta agosto de 2019. De cada localidad visitada se registraron las coordenadas geográficas por medio de un GPS marca GARMIN, modelo eTrex 30. Cuando fue posible, cada ejemplar fue recolectado por

quintuplicado siguiendo la metodología establecida por Lot y Chiang (1986). Estos ejemplares fueron determinados taxonómicamente con ayuda de literatura especializada y cotejados en los herbarios FEZA y MEXU, así como en herbarios virtuales, entre ellos, MO (*Missouri Botanical Garden* (<http://legacy.tropicos.org/Home.aspx>), NY (*New York Botanical Garden* (<http://sweetgum.nybg.org/science/vh/>) y *JStore Global Plants* (<https://plants.jstor.org>)). La correcta ortografía de los nombres científicos fue cotejada en el Índice Internacional de Nombres de Plantas (IPNI por sus siglas en inglés, <https://www.ipni.org>).

Además de las salidas al campo se examinaron ejemplares en colecciones biológicas nacionales y extranjeras, entre ellas, ARIZ (*University of Arizona Herbarium*), CHAPA (Colegio de Postgraduados, Chapingo), DES (*Desert Botanical Garden*), ENCB (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN), FEZA (Herbario Facultad de Estudios Superiores Zaragoza), IEB (Instituto de Ecología del Bajío, A.C.), MEXU (Herbario Nacional de México, UNAM) y UAMIZ (Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa). Asimismo, se solicitaron en calidad de préstamo especímenes de CIIDIR-DGO (Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, TEX (*University of Texas at Austin*), UC (*University of California*), US (*Smithsonian Institution*) y VT (*University of Vermont*). También se consultaron las bases de datos SEINet, HVC (Herbario Virtual de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), NY (*New York Botanical Garden Herbarium*), Tropicos® (*Missouri Botanical Garden*) y Muestras Neotropicales de Herbario (*Field Museum of Chicago*). A todos los ejemplares consultados se les corroboró su identidad taxonómica.

6.2 Obtención de los datos de presencia

Con la información obtenida de las salidas al campo y los ejemplares de herbario de las colecciones consultadas, se elaboró una base de datos que contiene los siguientes campos: especie, autoridad, país, estado, distrito, municipio, condado o departamento, localidad, latitud, longitud, altitud, tipo de vegetación y suelo, asociaciones florísticas, recolector, número y fecha de recolecta.

Los registros que no contaban con coordenadas, pero tenían información sobre el país, estado y localidad se georreferenciaron con los programas Google Earth Pro 7.3, Google Maps 10.39 y la página del archivo histórico de localidades del INEGI 2017(<https://www.inegi.org.mx>). Los registros que no tuvieron estos datos fueron eliminados (por especie), así como aquellos que se duplicaban. Las coordenadas geográficas o UTM se transformaron a grados decimales. Se cargaron los puntos de presencia de cada una de las especies en el programa ArcGis 10.5 (ESRI, 2016) y se excluyeron aquellos con posiciones geográficas próximas a los océanos y mares, o sitios donde se tiene conocimiento histórico de que la especie no habita de forma natural.

6.3 Modelación del nicho ecológico, reducción del área de ocupación (*M*)

Las variables ambientales que se utilizaron para generar los modelos fueron las 19 capas bioclimáticas globales de la base de WorldClim versión 2 (Cuadro 2), a una resolución espacial de 30 segundos de arco (1 km²), que contienen información de 1970 al año 2000 (Fick y Hijmans, 2017). Para reducir la estimación de las áreas donde se distribuyen las especies, cada una de las variables se ajustaron en ArcGIS a las áreas donde se tiene registro de éstas (distribución histórica). Los recortes se

realizaron para especies que sólo se localizan en México, México y Estados Unidos de América, Estados Unidos de América (*Yucca gloriosa*) y México-Guatemala (*Yucca guatemalensis*). Las áreas reducidas fueron transformadas en formato ASCII, donde se cargaron los registros de presencia de todas las especies, y se extrajeron los valores de cada variable, debido a que MaxEnt sólo reconoce este formato. Con estos datos se elaboró un perfil bioclimático para cada especie con la finalidad de conocer sus intervalos de tolerancia ambiental, evaluar su afinidad en relación con los factores ambientales y calcular la probabilidad de presencia en el espacio geográfico (Leal-Nares *et al.*, 2012) (Anexo 1).

Cuadro 2. Variables bioclimáticas de WorldClim utilizadas para generar los modelos de distribución de la sección *Yucca*.

| Clave | Variable bioclimática |
|--------------|--|
| Var01 | Temperatura media anual |
| Var02 | Rango medio diario (temp max-temp min; promedio mensual) |
| Var03 | Isotermalidad (Var02/Var07) (100) |
| Var04 | Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100) |
| Var05 | Temperatura máxima del mes más cálido |
| Var06 | Temperatura mínima del mes más frío |
| Var07 | Intervalo anual de temperatura (Var05-Var06) |
| Var08 | Temperatura media del trimestre más húmedo |
| Var09 | Temperatura media del trimestre más seco |
| Var10 | Temperatura media del trimestre más cálido |
| Var11 | Temperatura media del trimestre más frío |
| Var12 | Precipitación anual |
| Var13 | Precipitación del mes más húmedo |
| Var14 | Precipitación del mes más seco |

- Var15 Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
 - Var16 Precipitación del trimestre más húmedo
 - Var17 Precipitación del trimestre más seco
 - Var18 Precipitación del trimestre más cálido
 - Var19 Precipitación del trimestre más frío
-

6.4 Depuración final de la base de datos

Con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de sesgos en los datos de ocurrencia, se realizó un análisis de distribución con los valores extraídos de las variables temperatura y precipitación, en el programa SPSS versión 25 (IBM Corp., 2017). Se excluyeron los registros que tuvieran más de tres localidades climáticas atípicas debido a la dificultad para determinar si estas especies corresponden a zonas de distribución natural del género.

6.5 Selección de las variables ambientales

Con el objetivo de reducir la dimensionalidad de las variables y evitar errores de sobreestimación en los modelos, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) a cada una de las especies en el programa Minitab versión 19 (Minitab, 2019). Posteriormente, para elaborar los modelos de nicho ecológico se seleccionaron las variables obtenidas en los tres primeros componentes del ACP, esto en función del porcentaje de la varianza acumulada que explican. También se incluyeron las gráficas de los primeros dos componentes que indican la influencia de las variables en cada uno de éstos, mientras más se aproximan a 0 se consideran menos informativas. Con base en la información de los componentes y las influencias se determinaron las variables con las que se elaboraron cada uno

de los modelos (Cuadro 3). Además, se tomaron en cuenta aquellas variables que considera el análisis de Jackknife dentro del programa MaxEnt (Phillips, 2005).

Cuadro 3. Variables bioclimáticas utilizadas para elaborar los modelos de nicho ecológico.

| Especie | Variables bioclimáticas |
|-------------------------|---|
| <i>Yucca arizonica</i> | Var01, Var02, Var03, Var04, Var05, Var06, Var09, Var10, Var12, Var15, Var19 |
| <i>Y. baccata</i> | Var01, Var02, Var03, Var06, Var07, Var11, Var12, Var17, Var18 |
| <i>Y. carnerosana</i> | Var01, Var04, Var05, Var06, Var07, Var08, Var10, Var11, Var13, Var15, Var16, Var18 |
| <i>Y. decipiens</i> | Var01, Var04, Var05, Var06, Var07, Var08, Var10, Var11, Var12, Var13, Var15, Var16, Var18 |
| <i>Y. faxoniana</i> | Var04, Var09, Var11, Var12, Var13, Var14, Var15, Var16, Var17, Var18, Var19 |
| <i>Y. filifera</i> | Var05, Var08, Var09, Var12, Var13, Var14, Var16, Var17, Var19 |
| <i>Y. gloriosa</i> | Var01, Var06, Var07, Var09, Var10, Var11, Var12, Var13, Var16, Var17, Var18 |
| <i>Y. grandiflora</i> | Var02, Var03, Var04, Var05, Var08, Var09, Var10, Var13, Var14, Var16, Var18 |
| <i>Y. guatemalensis</i> | Var01, Var02, Var04, Var07, Var08, Var10, Var14, Var17 |
| <i>Y. jaliscensis</i> | Var01, Var04, Var05, Var06, Var08, Var09, Var10, Var14, Var15, Var16 |
| <i>Y. lacandonica</i> | Var02, Var05, Var06, Var07, Var11, Var13, Var14, Var15, Var19 |
| <i>Y. madrensis</i> | Var01, Var04, Var05, Var08, Var09, Var10, Var12, Var13, Var15, Var16, Var18, Var19 |
| <i>Y. mixteca</i> | Var02, Var05, Var06, Var08, Var10, Var12, Var13, Var16, Var18, Var19 |

| | |
|----------------------|---|
| <i>Y. periculosa</i> | Var01, Var02, Var03, Var09, Var10, Var11, Var12, Var14, Var17, Var18, Var19 |
| <i>Y. schidigera</i> | Var05, Var06, Var10, Var11, Var12, Var13, Var14, Var16, Var17, Var19 |
| <i>Y. schottii</i> | Var01, Var02, Var03, Var05, Var09, Var10, Var13, Var16, Var18 |
| <i>Y. treculeana</i> | Var03, Var05, Var06, Var08, Var09, Var10, Var11, Var12, Var14, Var17 |

6.6 Elaboración de los modelos de nicho

Con las variables de Worldclim (Fick e Hijmans, 2017) seleccionadas mediante el análisis de componentes principales y los puntos de presencia de cada especie de la sección *Yucca*, se obtuvieron los modelos de nicho ecológico a partir de los cuales se generó la distribución potencial por medio del algoritmo MaxEnt 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2006), en el cual se cargaron los datos de presencia de las especies de *Yucca* y las variables bioclimáticas asociadas a cada uno de estos puntos, con la finalidad de obtener los mapas de distribución con base en probabilidades de ocurrencia. Se eligió MaxEnt debido a que se ha demostrado con distintas simulaciones que genera buenas predicciones, aun cuando se utilizan muestras pequeñas (Phillips *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007).

La distribución de las especies se definió mediante la idoneidad de hábitat para cada especie con la salida *Cloglog* de acuerdo con valores que van entre 0 a 1, las áreas con valores próximos a 1 se consideran idóneas ambientalmente para la ocurrencia de las especies (Phillips *et al.*, 2006; Pérez-García y Liria, 2013), y se representaron en una escala colorimétrica, donde el valor más alto se expresó en

las tonalidades más azules. El algoritmo se calibró con el 75% de los registros de presencia y la validación con el 25% de los mismos utilizados para validar el modelo (*training test*). Para cada una de las especies se realizaron 10 repeticiones y se seleccionó una validación tipo *Bootstrap*, con la finalidad de reducir los posibles falsos positivos. Los modelos se validaron con los mismos registros, debido a que algunas especies contaban sólo con 15 puntos de presencia (≥ 10 ; Pearson *et al.*, 2007) para generar el modelo. Además, se desactivaron las opciones *Extrapolate* y *Do clamping* para evitar que el algoritmo extrapolara las variables con los datos más alejados del centroide del nicho. Los mapas promedio que generó MaxEnt se cargaron y editaron en ArcGIS 10.5.

6.7 Validación de los modelos

Para evaluar la confiabilidad de las predicciones de los modelos de distribución se emplearon las curvas AUC (*Area Under the Curve*) del ROC (*Receiver Operating Characteristic*) que genera el propio algoritmo. Ésta última compara la tasa de identificación correcta de presencias (*sensitivity*) contra la tasa de falsas alarmas (*1-specificity*) emitidas por el propio algoritmo, mientras que la AUC discrimina sitios donde la especie está presente, contra aquellos donde no está, con valores que oscilan entre 0 y 1, éstos indican la capacidad de predicción del modelo. Los valores de AUC menores que 0.5 indican que los modelos no son mejores que los realizados al azar (Elith *et al.*, 2006; Lobo *et al.*, 2007; Ávila Coria *et al.*, 2014). Según Araújo *et al.* (2005), los valores de AUC entre 0.7 y 0.9 se consideran buenos modelos, mientras que, aquellos mayores que 0.9 se califican como excelentes predictores.

En este estudio se excluyeron a *Yucca linearifolia*, *Y. capensis* y *Y. queretaroensis* por carecer de registros suficientes para generar el modelo; además de *Y. aloifolia* por ser una especie cultivada ampliamente, *Y. endlichiana* y *Y. torreyi* porque la covarianza entre sus variables ambientales era singular, por lo tanto, no se pudo calcular la distancia de Mahalanobis (Portillo y Plata, 2008).

6.8 Obtención de los puntajes del MER para asignar las categorías de riesgo

Se determinó la categoría de riesgo con base en los cuatro criterios del MER (A, B, C y D). El criterio A (Cuadro 4) evalúa características de la distribución geográfica, contiene cuatro subcriterios que comprenden la extensión de distribución del taxón, el número de localidades y provincias biogeográficas donde habita, así como la extralimitación de su distribución en el territorio mexicano. Por esto último, sólo se consideraron ocho especies de la sección *Yucca* que tienen distribución en México, y se excluyeron aquellas que se localizan fuera del territorio mexicano o si la mayoría de las localidades correspondían a Estados Unidos de América como *Yucca gloriosa*, *Y. arizonica*, *Y. baccata*, *Y. faxoniana*, *Y. madrensis*, *Y. schidigera* y *Y. treculeana*.

Los puntos de presencia de cada especie se sobrepusieron en un mapa de México, para calcular la extensión de la distribución de los taxones en kilómetros en ArcGis 10.5 sobre un mapa de la República Mexicana; en él se trazaron polígonos con la finalidad de conocer las áreas de ocupación y su proporción con respecto a la superficie total del territorio nacional. El número de provincias biogeográficas y localidades se obtuvieron del mapa de provincias biogeográficas de México escala 1:4 000 000 de Conabio (1997), como lo indica la norma. En

ArcGIS se colocaron sobre este mapa los puntos de presencia de cada taxón y se contabilizó el número de provincias y localidades donde está presente cada especie.

Cuadro 4. Criterio A. Extensión del área de distribución.

| Porcentaje del área de distribución | Puntos |
|---|---------------|
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² | 4 |
| El área de distribución es mayor a 1 km ² , pero <1% del Territorio Nacional | 3 |
| El área de distribución >1-<5% del Territorio Nacional | 2 |
| El área de distribución >5-<40% del Territorio Nacional | 1 |
| El área de distribución >40% del Territorio Nacional | 0 |

El criterio B aborda las características del hábitat, se utilizó el mapa de Vegetación Potencial de Rzedowski (1990), como lo indica la norma y se determinaron los tipos de vegetación en los que se presenta cada especie. Se siguió el mismo procedimiento del criterio A para establecer las provincias biogeográficas. Además, se consultó la base de datos para obtener los gradientes altitudinales. La información relacionada con la especialización del hábitat, la dependencia de la población de un hábitat primario, y si su permanencia requiere de regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión, se determinaron con base en literatura especializada del género (Matuda y Piña, 1980; García-Mendoza, 2011), así como de la información registrada durante las salidas al campo.

Los criterios Vulnerabilidad biológica intrínseca (C) e Impacto de la actividad humana (D), que incluyen en el primer caso aspectos demográficos, genéticos, moleculares e interacciones bióticas; e impacto de la actividad humana sobre la fragmentación del hábitat y el uso del taxón como recurso en el segundo criterio, se evaluaron mediante literatura especializada (Matuda y Piña, 1980; Clary y Simpson, 1995; Granados-Sánchez y López-Ríos, 1998; Rentería y Cantú, 2003; Good-Avila *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 2008; García-Mendoza, 2011; Althoff *et al.*, 2012) o mediante observaciones en el campo. Cuando no se contaba con la información requerida se asignó un valor de 0 como lo indica la norma.

Por último, para obtener el puntaje total y realizar la asignación de la categoría de riesgo de cada una de las especies, se realizó la sumatoria de los puntajes de los subcriterios y se dividieron entre los valores establecidos por el MER para cada criterio A= 11, B= 9, C= 23 y D= 10 puntos respectivamente (Cuadro 5). En este análisis se incluyeron los modelos de nicho, trabajo de campo y el apoyo de especialistas en el género para determinar el estado de riesgo de las ocho especies evaluadas.

Cuadro 5. Asignación de las categorías de riesgo según el MER.

| Categoría | Abreviatura | Puntaje |
|------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Sujeta a protección especial | Pr | ≥ 1.5 y ≤ 1.7 |
| Amenazada | A | ≥ 1.7 y ≤ 2 |
| En peligro de extinción | P | ≥ 2 |

VII RESULTADOS

7.1 Registros de presencia

La revisión de los especímenes de herbarios tanto de manera física como virtual y las recolectas en el campo, permitieron la elaboración de una base de datos con 2436 registros del género *Yucca*, de los cuales 1823 corresponden a las especies de la sección *Yucca*, pertenecientes a 17 especies (cuadro 6).

Cuadro 6. Número de Registros de la sección *Yucca*.

| Especie | Número de registros |
|---|----------------------------|
| <i>Yucca arizonica</i> McKelvey | 26 |
| <i>Y. baccata</i> Torr. | 215 |
| <i>Y. carnerosana</i> (Trel.) McKelvey | 38 |
| <i>Y. decipiens</i> Trel. | 34 |
| <i>Y. faxoniana</i> Sarg. | 37 |
| <i>Y. filifera</i> Chabaud | 106 |
| <i>Y. gloriosa</i> L. | 15 |
| <i>Y. grandiflora</i> Gentry | 38 |
| <i>Y. guatemalensis</i> Baker | 29 |
| <i>Y. jaliscensis</i> (Trel.) Trel. | 15 |
| <i>Y. lacandonica</i> Gómez Pompa & J. Valdés | 21 |
| <i>Y. madrensis</i> Gentry | 25 |
| <i>Y. mixtecana</i> García-Mend. | 18 |
| <i>Y. periculosa</i> Baker | 50 |

| | |
|-------------------------------|----|
| <i>Y. schidigera</i> Ortgies | 59 |
| <i>Y. schottii</i> Engelm. | 46 |
| <i>Y. treculeana</i> Carrière | 56 |

7.2 Perfil bioclimático

La temperatura promedio anual en la que se registraron las especies con distribución septentrional de la sección *Yucca* oscila entre 3°C y 27°C; mientras que la máxima del mes más cálido es de 18.8°C a 42.6°C; la media del trimestre más seco se registró entre -0.6°C a 26.5°C, con una precipitación en el trimestre más cálido de 11 a 648 mm. Por otra parte, las especies con distribución austral se establecen en sitios con una temperatura promedio anual entre 12.7°C y 35.7°C, con una máxima del mes más cálido de 20.9°C a 35.7°C, en una media del trimestre más seco de 9.4°C y 27.5, con una precipitación en el trimestre más seco de 6 a 193 mm (Anexo I).

7.3 Análisis de componentes principales

En 16 de los 17 modelos las variables que explicaron más del 82% de la varianza acumulada, fueron las de los primeros tres componentes principales, con excepción de *Yucca carnerosana* que tiene una varianza del 78.1%. En el Anexo II se muestran los componentes principales de cada especie, su proporción y la varianza acumulada. Las variables con mayor peso en el agrupamiento se indican en negritas.

7.4 Modelos de nicho ecológico

Se generaron 225 modelos, 15 por cada una de las 17 especies estudiadas. De los 225 modelos se seleccionaron los mapas promedio donde la distribución potencial se establece con valores de 0 a 1, los números próximos a 0 se consideran áreas con baja probabilidad para que habiten los taxones y están representadas con colores claros, mientras que, los más cercanos a 1 indican áreas idóneas para las especies y tienen colores más intensos (fig. 2a - 2q). Dentro de cada modelo se incluyó además un mapa que indica la distribución conocida de las especies.

Yucca arizonica se distribuye en el suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica, desde el *Coronado National Forest* y a lo largo del *Three Canyon*, en Arizona, hasta el noroeste de México en el estado de Sonora, en la región más septentrional de la Sierra Madre Occidental. Su distribución potencial indica que podría extenderse con alta probabilidad hacia el norte en Utah y al este en una pequeña porción de Nuevo México. En México los hábitats idóneos se presentan solo en Sonora (Fig. 2).

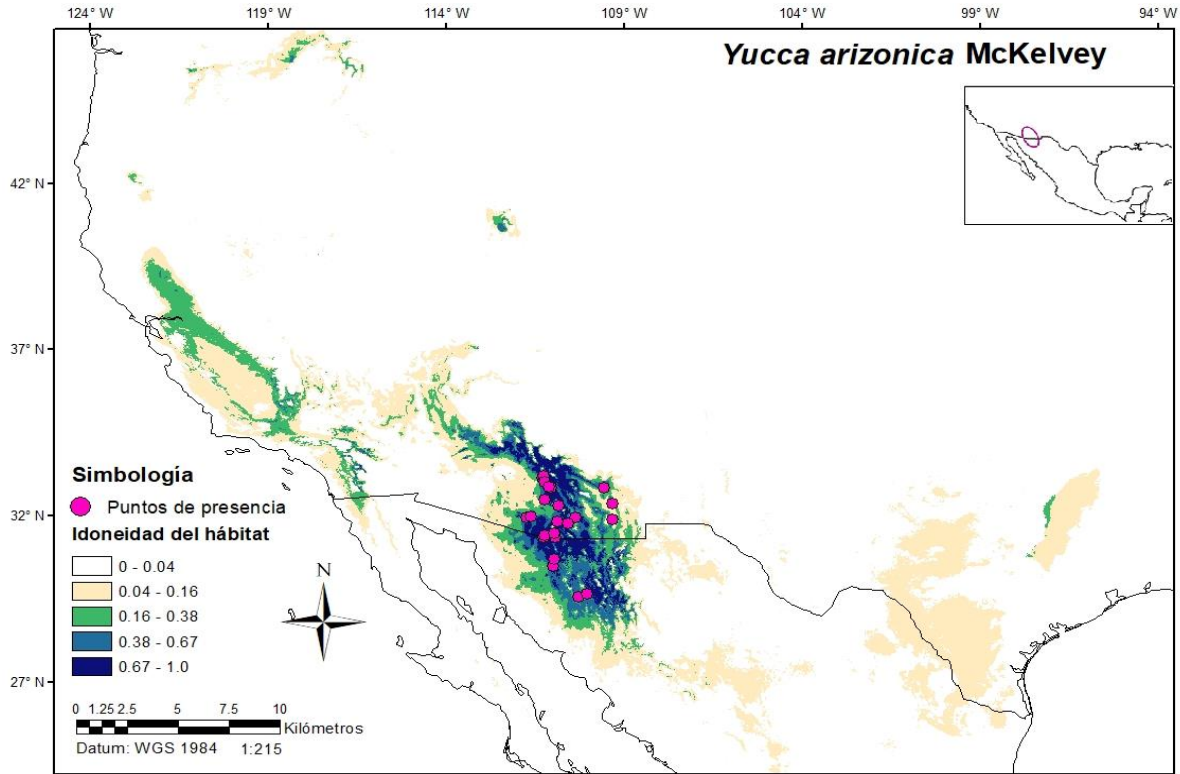


Figura 2. Distribución potencial de *Yucca arizonica*.

Yucca baccata muestra una distribución potencial amplia y dispersa hacia el este de Estados Unidos de América, así como en el norte de México en los estados de Sonora y Chihuahua. No obstante, de acuerdo con el modelo existen áreas idóneas para esta especie situadas en Arizona, Nuevo México, este de Texas, suroeste de Utah, sur de Nevada, norte y sur de California, Oregón y sureste de Washington, en Estados Unidos de América, además de Coahuila, Chihuahua, Sonora y el norte de Baja California en México (Fig. 3).

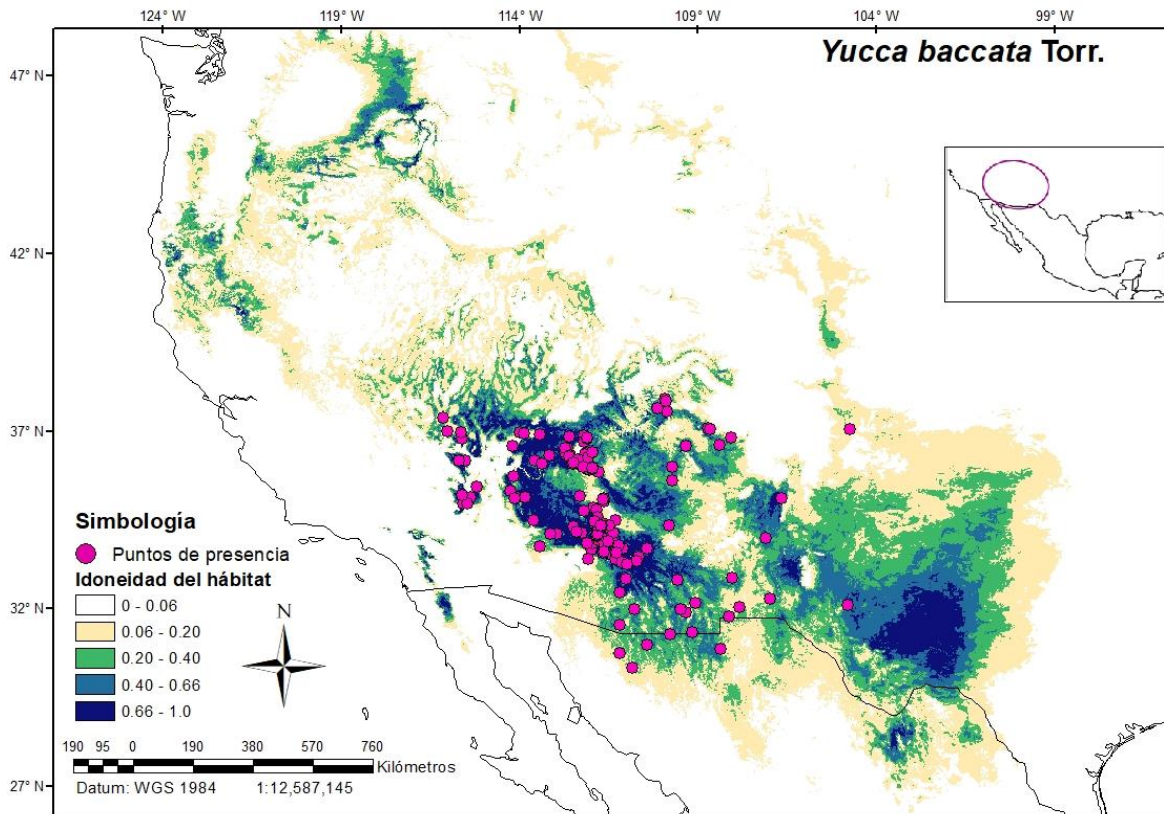


Figura 3. Distribución potencial de *Yucca baccata*.

La distribución potencial de *Yucca carnerosana* incluye gran parte del Altiplano Mexicano en los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas y San Luis Potosí. El algoritmo también estimó la distribución con menor probabilidad en Chihuahua, Sonora, Baja California, Baja California Sur, en el norte de México, y hacia el sur del país en una porción de Puebla e Hidalgo (Fig. 4).

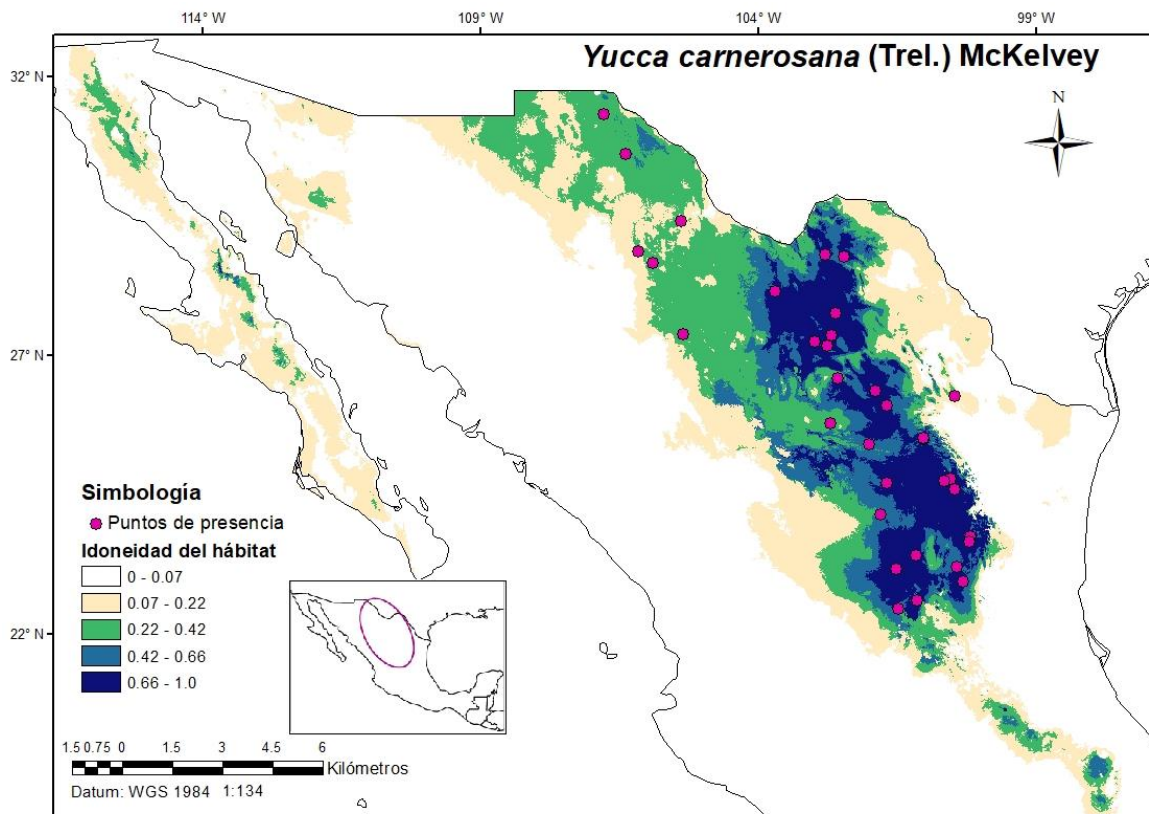


Figura 4. Distribución potencial de *Yucca carnerosana*.

En el caso de *Yucca decipiens* su distribución potencial abarca el centro del Altiplano, principalmente en Zacatecas, San Luis Potosí, Durango y Aguascalientes, además de la porción sur de Coahuila, así como el noreste de Jalisco y norte de Guanajuato. Además, con valores de probabilidad entre 0.07 a 0.6 contempla los estados de Querétaro, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala (Fig. 5).

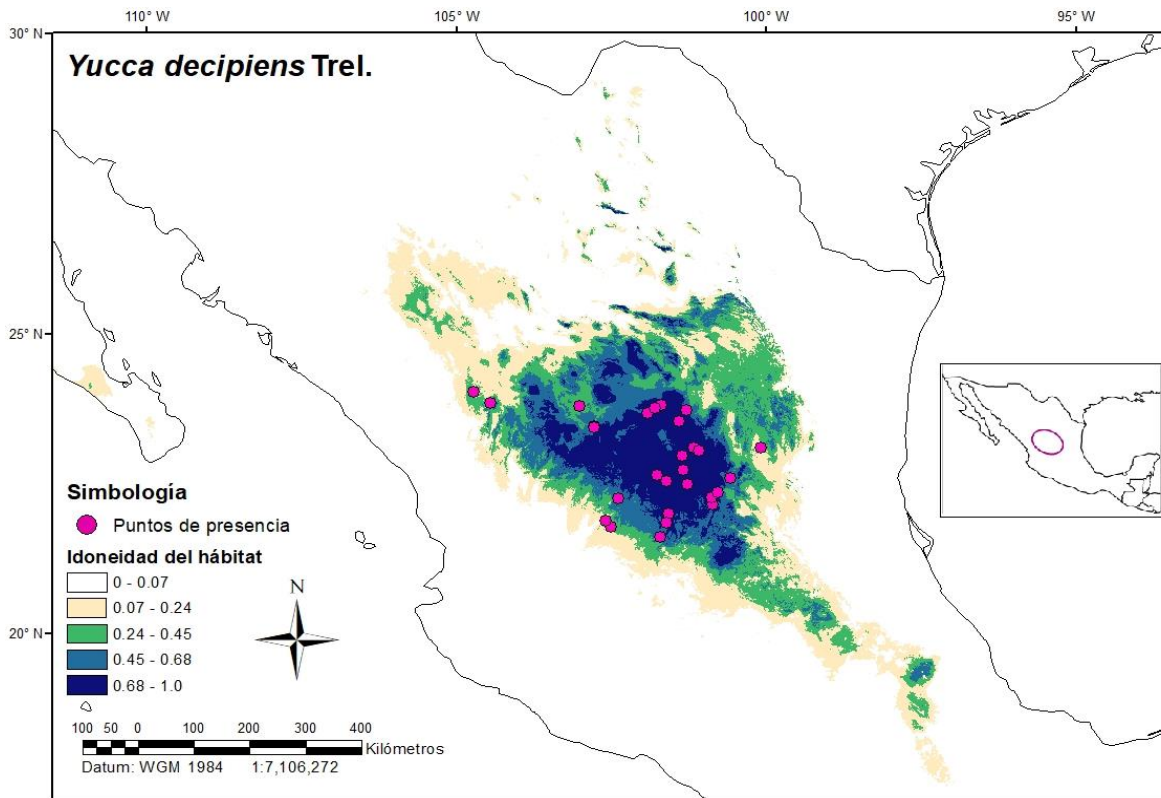


Figura 5. Distribución potencial de *Yucca decipiens*.

Yucca faxoniana se distribuye potencialmente con alta idoneidad en el norte del Altiplano en la frontera de México y Estados Unidos de América, incluye los estados de Texas, Nuevo México, Coahuila y Chihuahua, noreste tanto de Durango como de Zacatecas. También con idoneidad media la distribución incluye algunas áreas del centro de México entre ellas San Luis Potosí, norte de Guanajuato y algunas zonas dispersas de Querétaro, Hidalgo y Puebla (fig. 6).

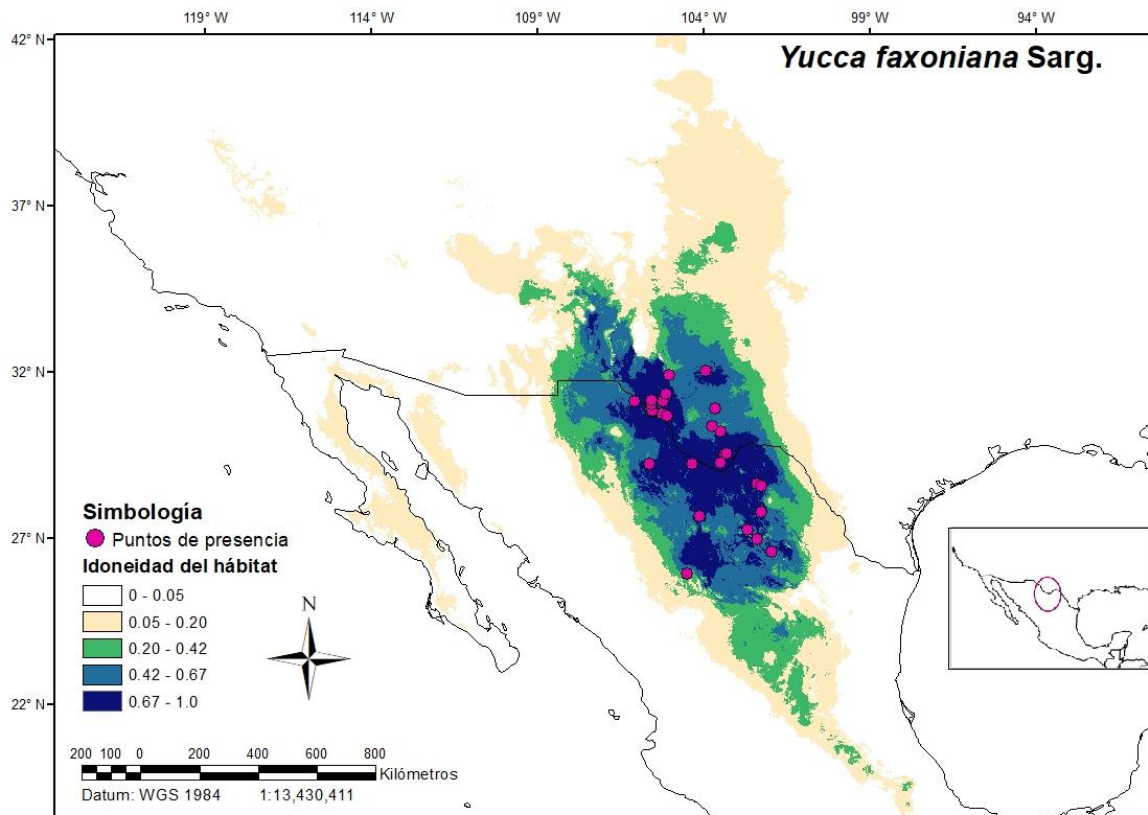


Figura 6. Distribución potencial de *Yucca faxoniana*.

Con respecto a *Yucca filifera*, ésta presenta una distribución potencial principalmente sobre la transición entre la Sierra Madre Oriental, el Altiplano y la Faja Volcánica Transmexicana, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí, noreste de Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. Asimismo, se observan regiones menos idóneas en Chihuahua, Michoacán, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Fig. 7).

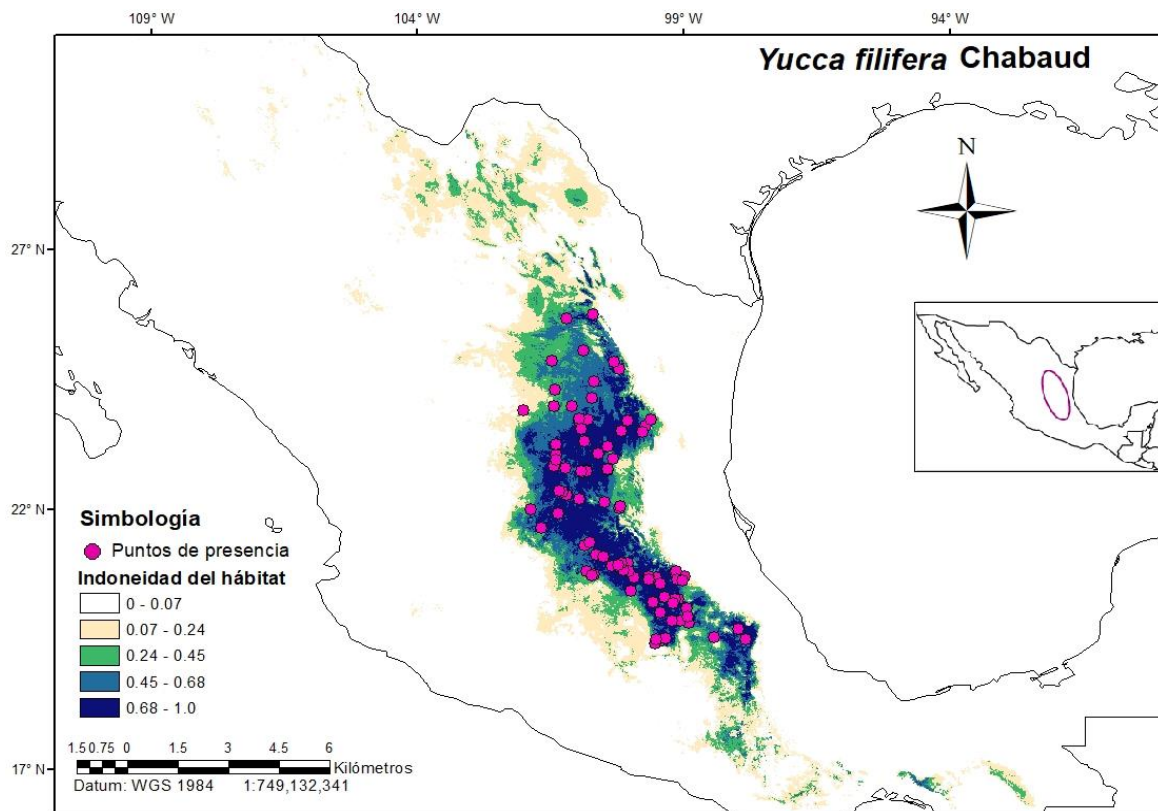


Figura 7. Distribución potencial de *Yucca filifera*.

La distribución potencial de *Yucca gloriosa* ocupa áreas de la costa del Océano Atlántico y el Golfo de México en el sureste de Estados Unidos de América, principalmente en Carolina del norte, Carolina del Sur, Georgia, Alabama, Mississippi y Luisiana, con menor probabilidad están también Florida, Arkansas y este de Texas (fig. 8).

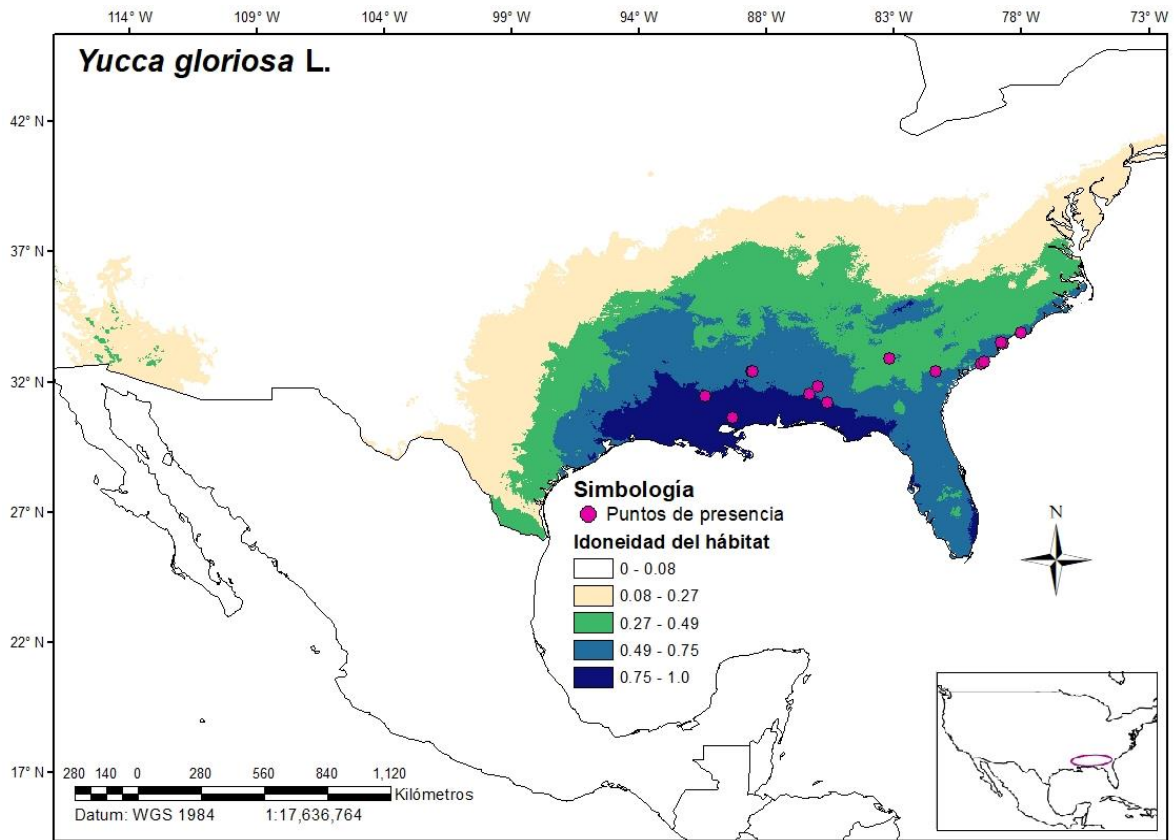


Figura 8. Distribución potencial de *Yucca gloriosa*.

El modelo de *Yucca grandiflora* muestra su distribución potencial en el norte de la Sierra Madre Occidental y la porción noroeste del Altiplano Mexicano, principalmente en Sonora y algunas áreas de Chihuahua. Además, incluye con baja idoneidad áreas pequeñas en el norte de Chihuahua y Sinaloa (Fig. 9).

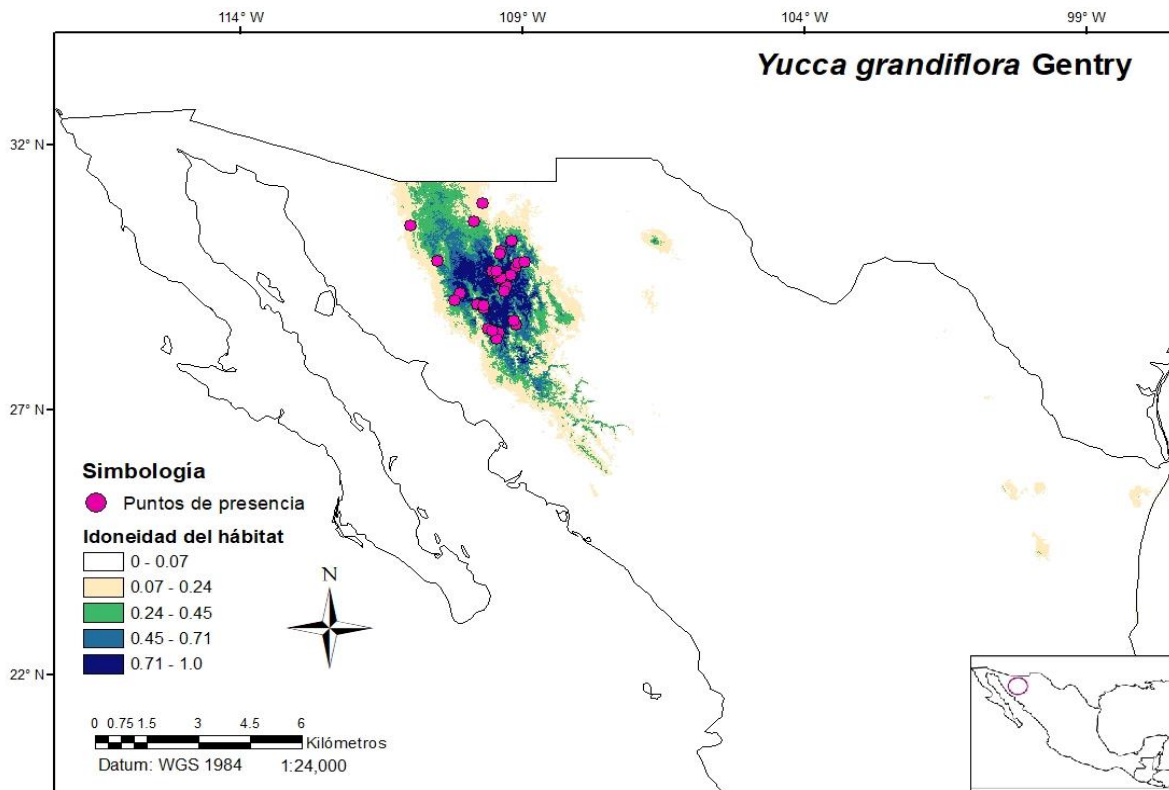


Figura 9. Distribución potencial de *Yucca grandiflora*.

Las principales áreas de idoneidad de hábitat para *Yucca guatemalensis*, se localizan en la vertiente del Golfo de México desde Tamaulipas hasta Yucatán, abarcando áreas en Veracruz, Campeche y Tabasco; en el Mar Caribe incorpora a Quintana Roo y Belice; hacia la vertiente del Pacífico considera Sinaloa, Durango, Nayarit (incluidas las Islas Marías), Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y gran parte de Guatemala. Del centro de México se incluyen el Estado de México, Ciudad de México, el norte de Querétaro, Hidalgo y Guanajuato (Fig. 10).

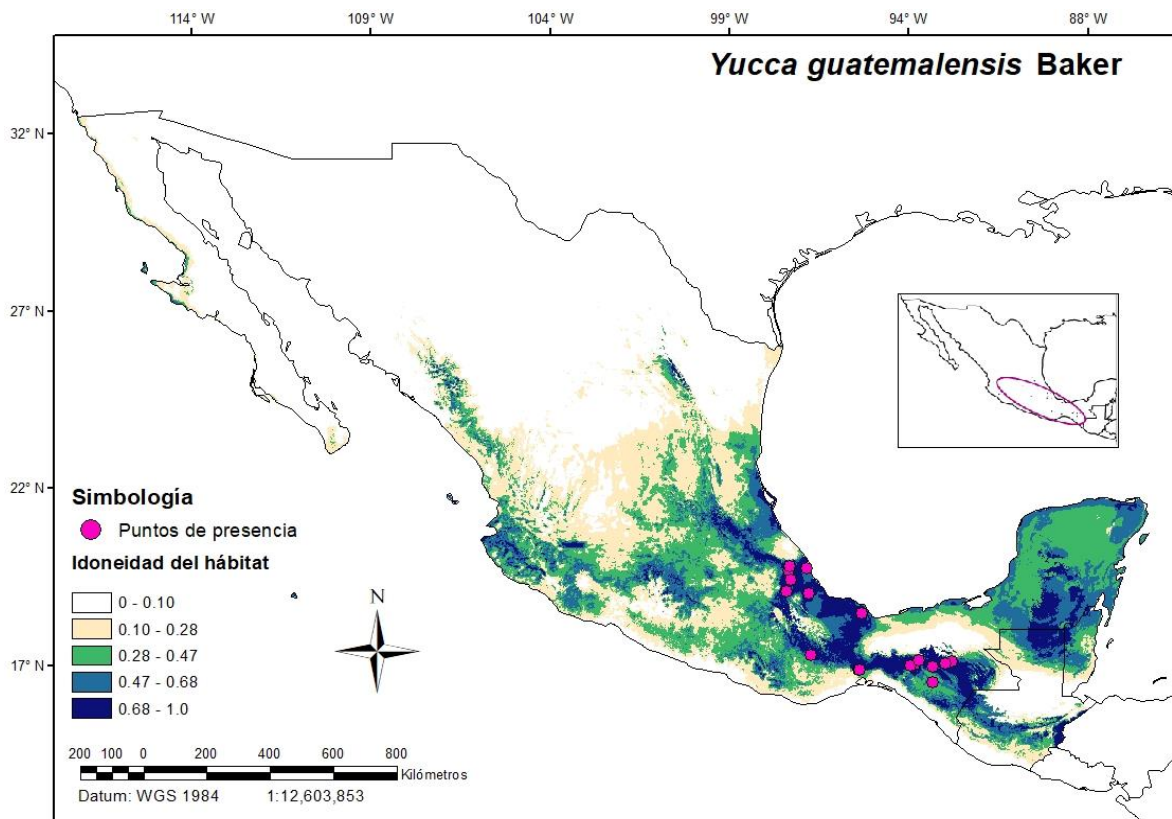


Figura 10. Distribución potencial de *Yucca guatemalensis*.

Yucca jaliscensis se distribuye potencialmente con alta idoneidad en varios estados de la República Mexicana, principalmente en las cadenas montañosas del sur de la Sierra Madre Occidental en los estados de Sinaloa, Nayarit y Jalisco; en el Eje Neovolcánico Transversal incluye gran parte de Jalisco, Michoacán, algunas zonas del Estado de México, suroeste de Querétaro, Ciudad de México, Tlaxcala y Puebla; y sobre la Costa del Pacífico ocupa varias porciones de Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y dos fragmentos en Chiapas (Fig. 11).

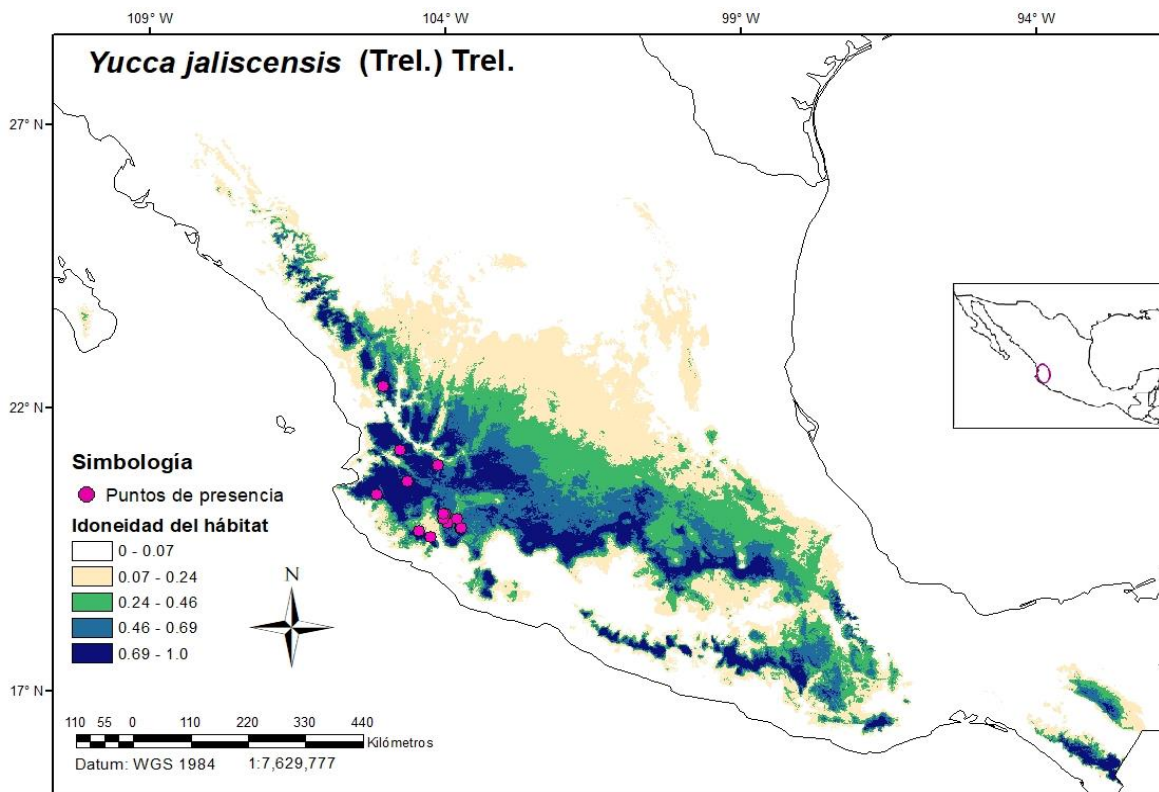


Figura 11. Distribución potencial de *Yucca jaliscensis*.

Yucca lacandonica tiene una distribución potencial principalmente sobre la vertiente del Golfo de México, en los estados de Veracruz y Tabasco. En la vertiente del Pacífico se localiza especialmente en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca y Chiapas hasta los límites con Guatemala (Fig. 12).

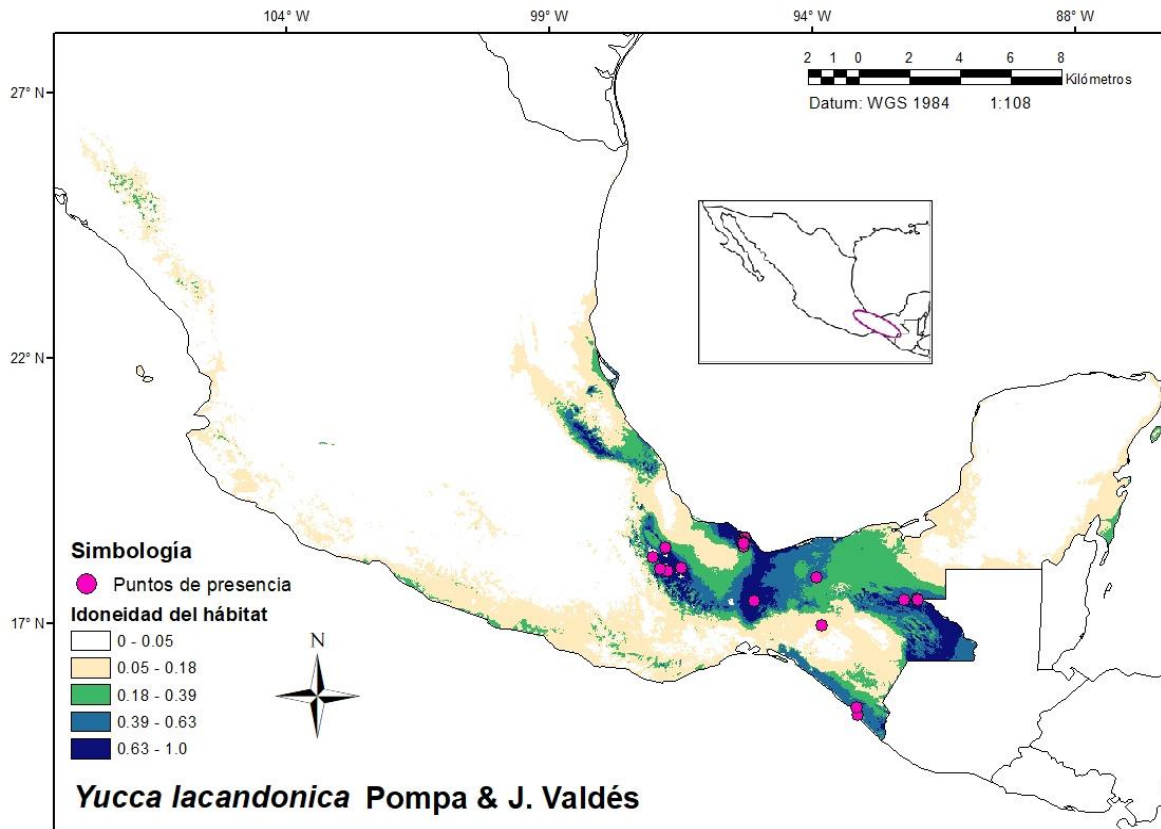


Figura 12. Distribución potencial de *Yucca lacandonica*.

El modelo de *Yucca madrensis*, indica su distribución potencial en áreas localizadas en el suroeste de Arizona, y al noroeste de México, sobre todo en Sonora y Chihuahua. Con menor probabilidad de ocurrencia, se observan porciones en el norte de Sinaloa, Zacatecas y Durango. Ambos casos de idoneidad del hábitat se localizan en la Sierra Madre Occidental (Fig. 13).

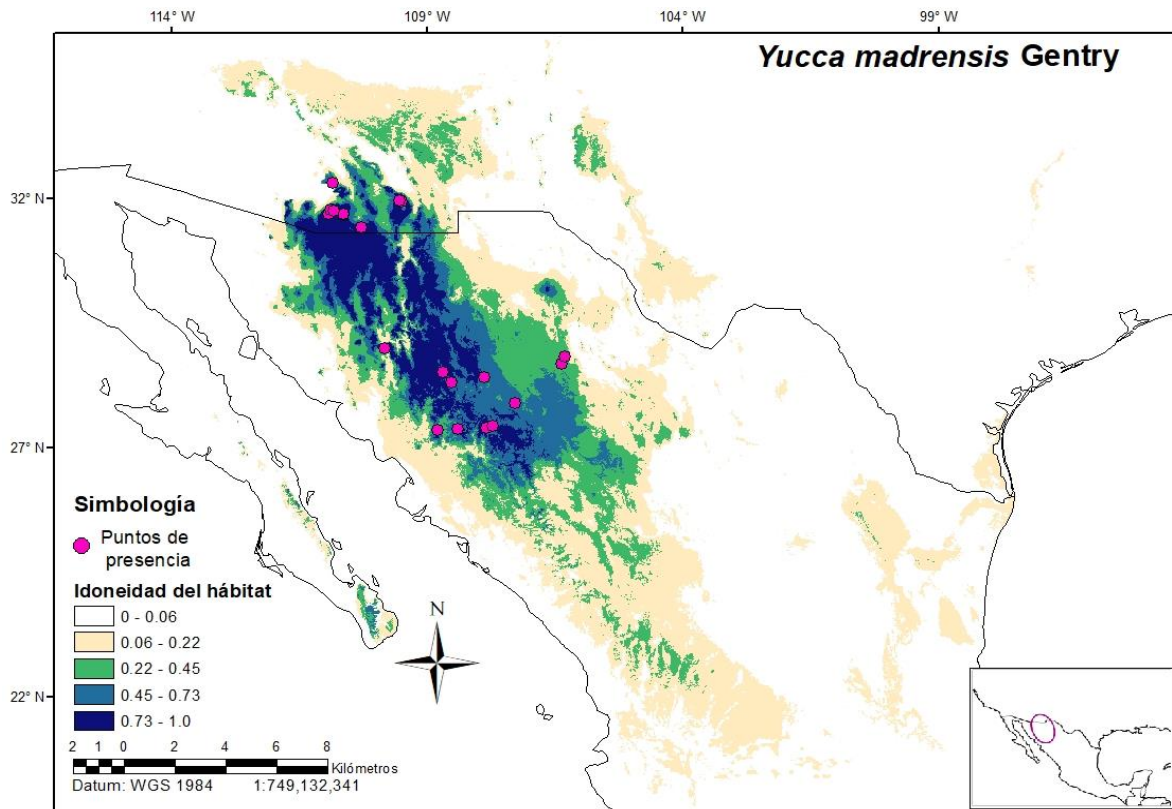


Figura 13. Distribución potencial de *Yucca madrensis*.

La distribución potencial de *Yucca mixtecana* (Fig. 14) y *Yucca periculosa* (Fig. 15), se extiende a lo largo del Valle de Tehuacán-Cuicatlán en Puebla y Oaxaca principalmente. Para la segunda especie el modelo predice áreas con alta idoneidad de hábitat hacia el centro de nuestro país, en los estados de Veracruz, Tlaxcala, Estado de México, Ciudad de México, Hidalgo y Querétaro. En el caso de *Y. mixtecana* el modelo predice zonas con mayor probabilidad de ocurrencia en el sur de Oaxaca.

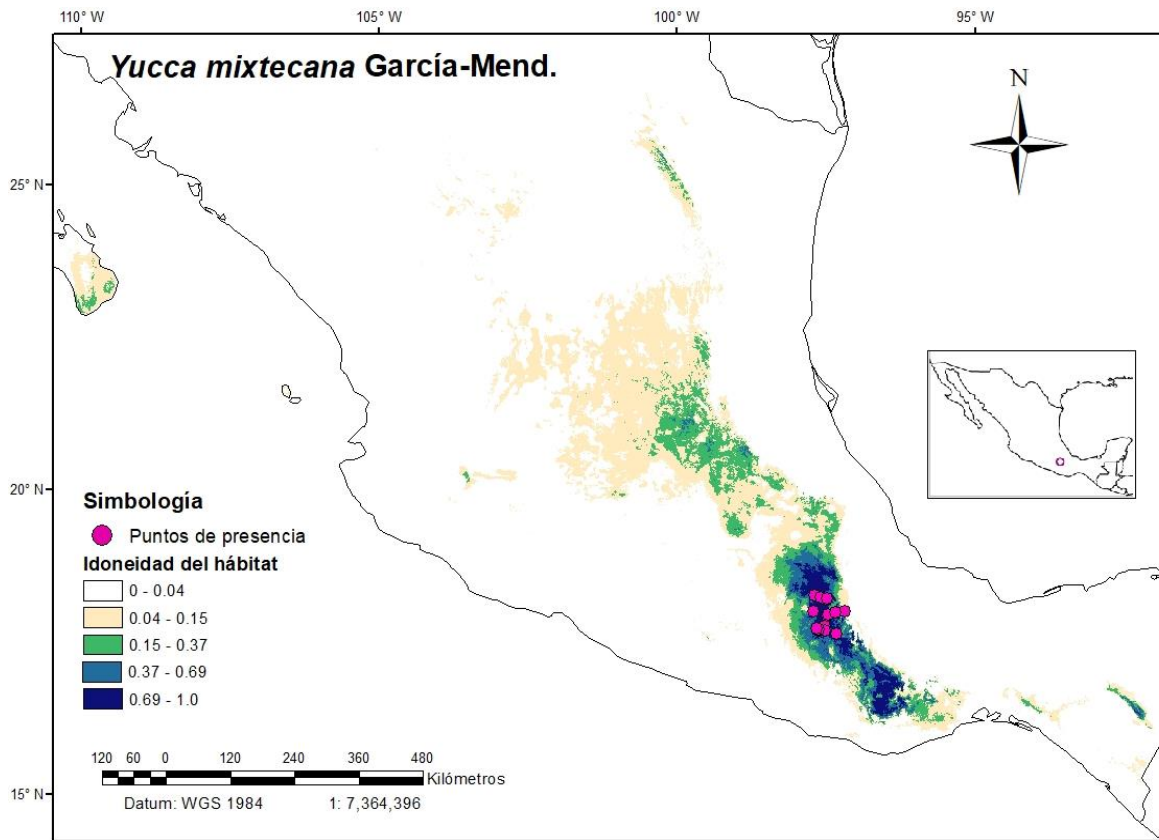


Figura 14. Distribución potencial de *Yucca mixtecana*.

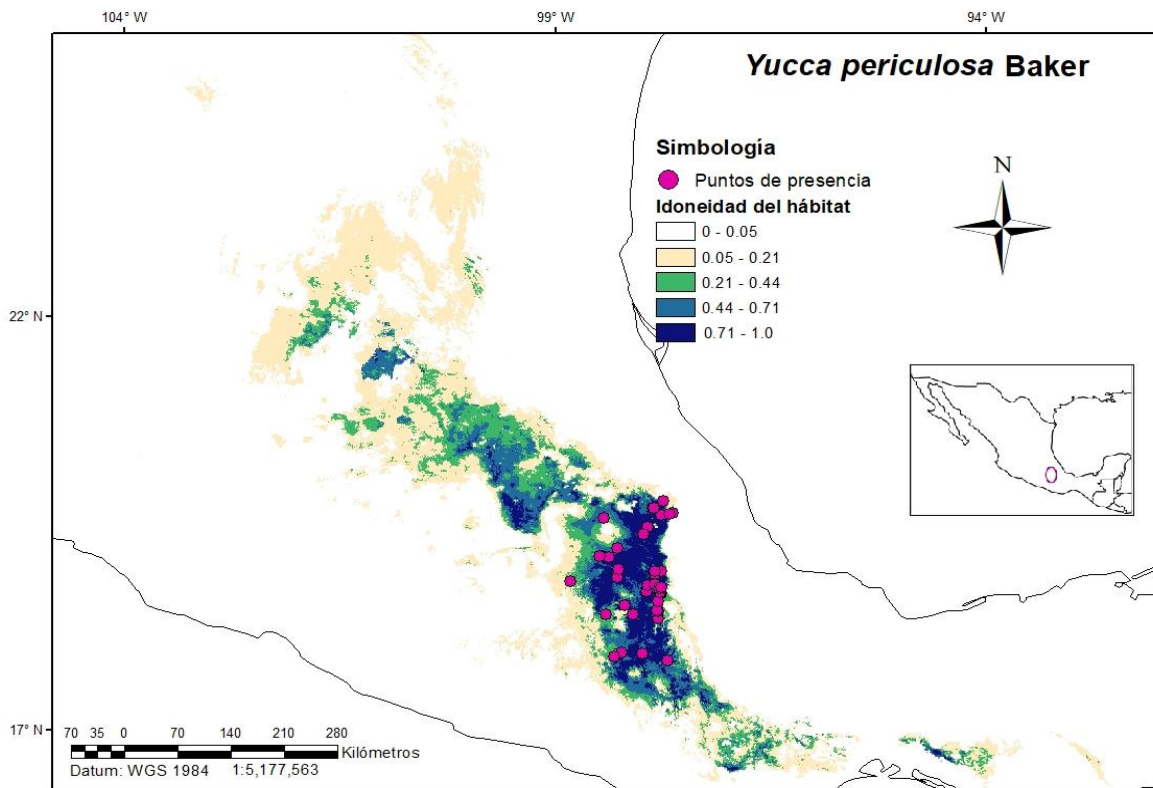


Figura 15. Distribución potencial de *Yucca periculosa*.

El modelo de *Yucca schidigera* (Fig. 16) muestra que su distribución potencial cubre en gran medida el norte de la Sierra de Baja California, en las sierras de San Pedro Mártir y Juárez, y se extiende hacia el Desierto de Mojave en California, Arizona y suroeste de Nevada.

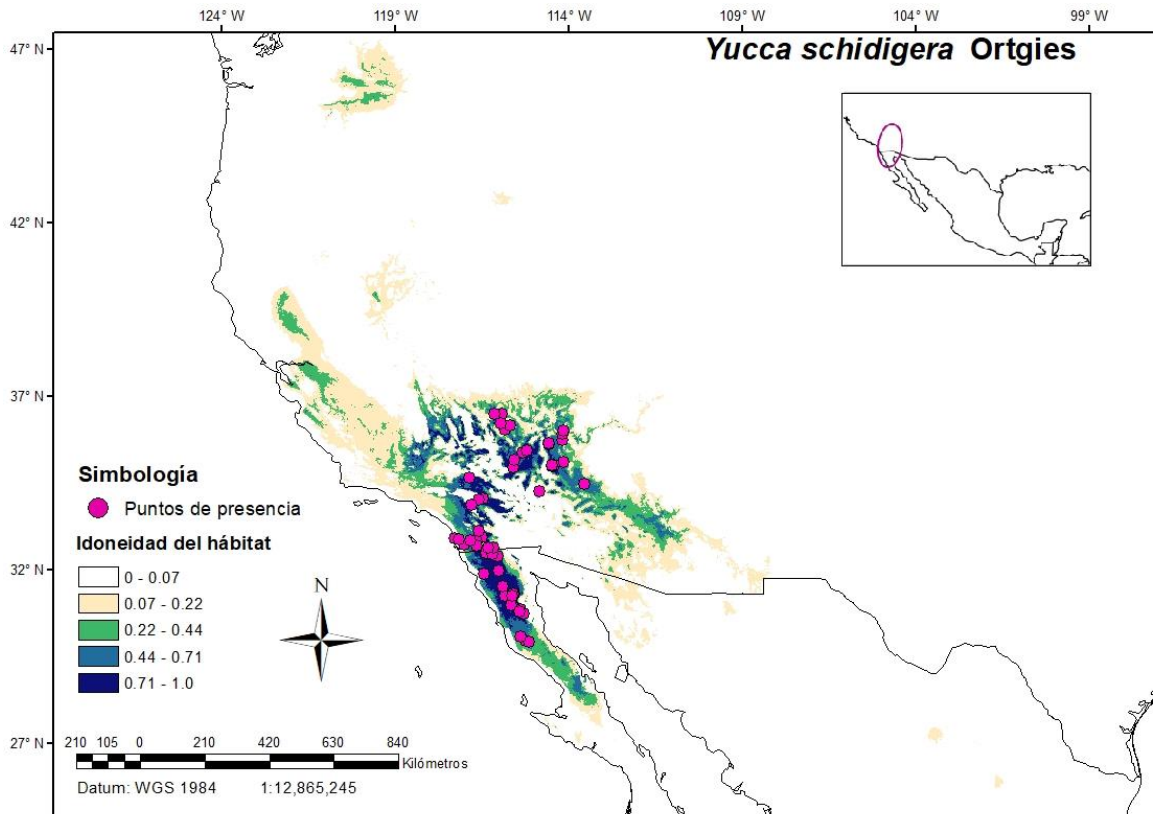


Figura 16. Distribución potencial de *Yucca schidigera*.

La distribución potencial de *Yucca schottii* se sitúa con altas probabilidades de ocurrencia, principalmente al norte de la Sierra Madre Occidental y el Altiplano Mexicano, sobre Sonora y Chihuahua, extendiéndose hacia el sur de Estados Unidos de América en Nuevo México y Arizona. El algoritmo predice una distribución dispersa y con estimación media hacia el norte de Durango (Fig. 17).

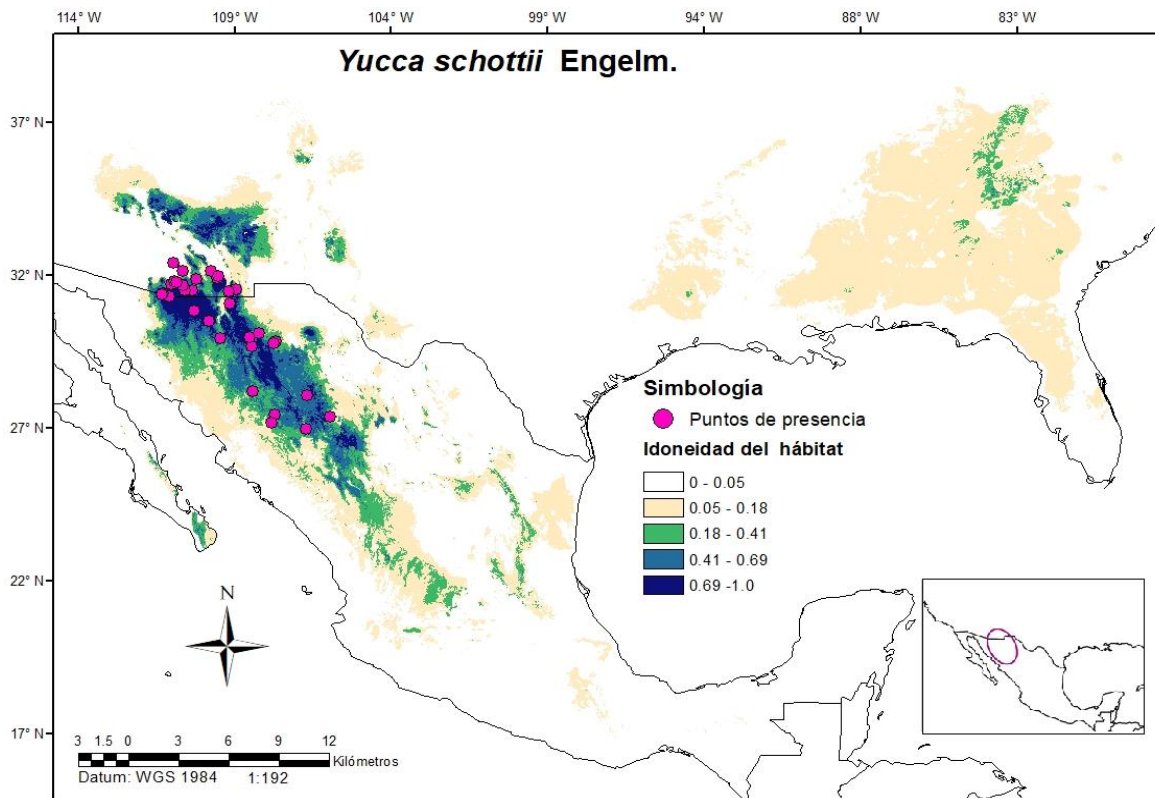


Figura 17. Distribución potencial de *Yucca schottii*.

Yucca treculeana muestra una distribución potencial con alta idoneidad sobre la vertiente del Golfo de México, norte de la Sierra Madre Oriental y el Altiplano Norte, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, este de Chihuahua y centro de Sonora en México; mientras que, en Estados Unidos de América hay áreas en el sur de Texas y Nuevo México. También se observan algunas porciones con probabilidades medias en el norte de Veracruz, este de San Luis Potosí y el oeste de Sonora (Fig. 18).

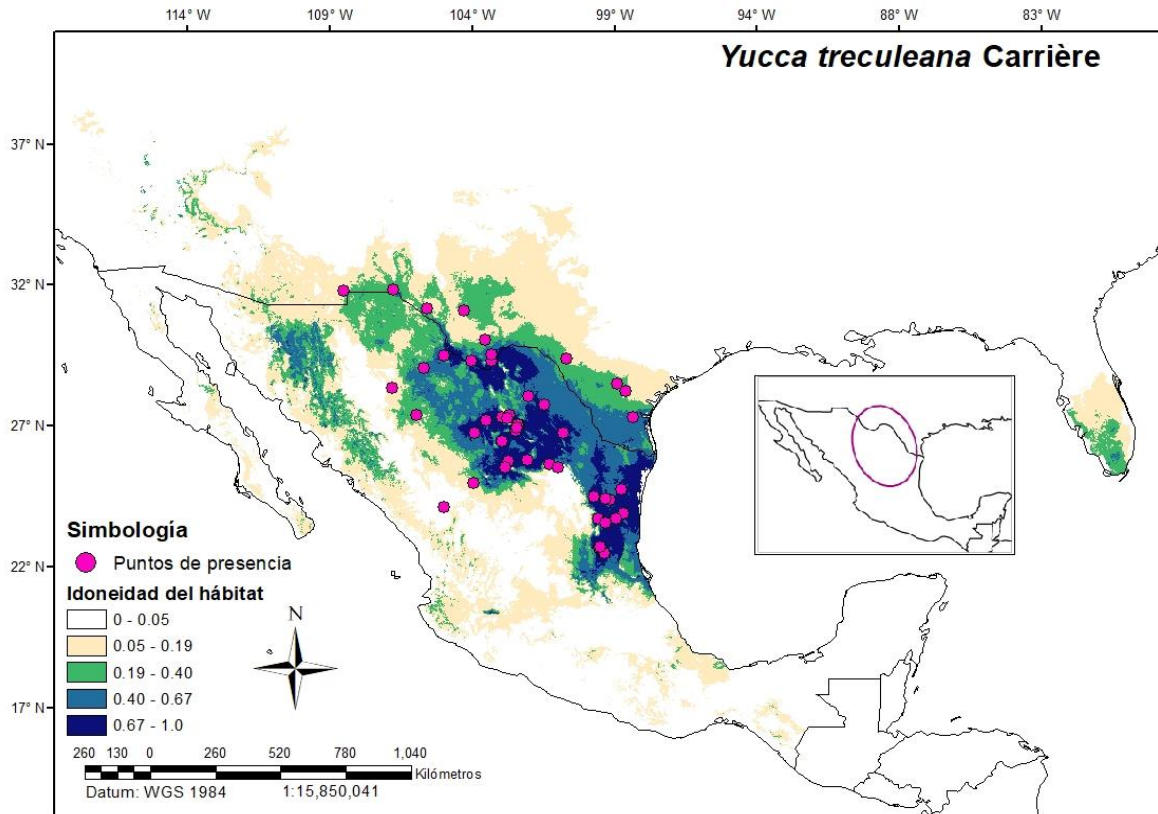


Figura 18. Distribución potencial de *Yucca treculeana*.

7.4 Validaciones

De las 17 especies analizadas, en 15 la validación de los mapas promedio fue mayor a 0.990, con excepción de *Yucca guatemalensis* y *Y. treculeana*. En el cuadro 7 se especifican los valores de los datos de entrenamiento y de prueba. De acuerdo con estos valores se considera que los mapas predicen mejor la distribución potencial que uno realizado al azar y tiene un buen rendimiento. En el Anexo III se muestran los gráficos de las curvas *ROC* y *AUC* de cada especie.

Cuadro 7. Calibraciones, datos de prueba y desviación estándar de los modelos según MaxEnt.

| Espece | AUC datos de entrenamiento | AUC datos de prueba | Desviación estándar |
|--------|----------------------------|---------------------|---------------------|
|--------|----------------------------|---------------------|---------------------|

| | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| <i>Yucca arizonica</i> | 0.995 | 0.993 | 0.003 |
| <i>Y. baccata</i> | 0.977 | 0.971 | 0.005 |
| <i>Y. carnerosana</i> | 0.948 | 0.918 | 0.029 |
| <i>Y. decipiens</i> | 0.977 | 0.967 | 0.012 |
| <i>Y. faxoniana</i> | 0.991 | 0.986 | 0.005 |
| <i>Y. filifera</i> | 0.967 | 0.960 | 0.006 |
| <i>Y. gloriosa</i> | 0.970 | 0.967 | 0.007 |
| <i>Y. grandiflora</i> | 0.990 | 0.986 | 0.004 |
| <i>Y. guatemalensis</i> | 0.921 | 0.858 | 0.054 |
| <i>Y. jaliscensis</i> | 0.978 | 0.964 | 0.010 |
| <i>Y. lacandonica</i> | 0.987 | 0.981 | 0.009 |
| <i>Y. madrensis</i> | 0.996 | 0.994 | 0.002 |
| <i>Y. mixteca</i> | 0.993 | 0.986 | 0.007 |
| <i>Y. periculosa</i> | 0.993 | 0.992 | 0.002 |
| <i>Y. schidigera</i> | 0.995 | 0.993 | 0.001 |
| <i>Y. schottii</i> | 0.993 | 0.990 | 0.004 |
| <i>Y. treculeana</i> | 0.983 | 0.971 | 0.008 |

7.5 Asignación de categorías de riesgo

De acuerdo con el análisis del MER para la asignación de categorías de riesgo, cuatro especies están sujetas a protección especial: *Yucca carnerosana*, *Y. decipiens*, *Y. filifera* y *Y. periculosa*, tres de ellas están amenazadas: *Y. grandiflora*, *Y. jaliscensis* y *Y. mixteca*, y sólo *Yucca lacandonica* se encuentra en peligro de extinción (Cuadro 8). El criterio A (Características de la distribución geográfica) es el que tiene mayor peso para la asignación de la categoría en siete especies seguido del criterio D (Impacto de la actividad humana), excepto para *Y. filifera* donde este último criterio fue el que tuvo peso mayor. En el Anexo IV se presentan todos los indicadores y subindicadores del MER.

Cuadro 8. Sumatoria de los criterios del MER.

| Especie | Criterio A | Criterio B | Criterio C | Criterio D | Total | Categoría de riesgo |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| <i>Y. carnerosana</i> | 0.45 | 0.33 | 0.30 | 0.40 | 1.48 | Pr |
| <i>Y. decipiens</i> | 0.55 | 0.33 | 0.39 | 0.40 | 1.67 | Pr |
| <i>Y. filifera</i> | 0.36 | 0.00 | 0.43 | 0.50 | 1.29 | Pr |
| <i>Y. grandiflora</i> | 0.64 | 0.33 | 0.48 | 0.40 | 1.85 | A |
| <i>Y. jaliscensis</i> | 0.73 | 0.33 | 0.35 | 0.50 | 1.91 | A |
| <i>Y. lacandonica</i> | 0.91 | 0.56 | 0.61 | 0.80 | 2.88 | P |
| <i>Y. mixteca</i> | 0.63 | 0.33 | 0.30 | 0.50 | 1.76 | A |
| <i>Y. periculosa</i> | 0.63 | 0.22 | 0.30 | 0.40 | 1.55 | Pr |

P=En peligro de extinción, A=Amenazada, Pr=Sujeta a protección especial.

De acuerdo con la NOM-059, *Y. grandiflora* es una especie sujeta a protección especial (Pr). No obstante, en este análisis los subcriterios con mayor peso en la determinación de su categoría de riesgo fueron: la restricción de su área de distribución, su presencia en pocas localidades y el número de provincias biogeográficas, así como sus características demográficas, entre ellas pocos individuos por población, variación genética baja y la relación estrecha que tiene con su polinizador (Clary, 1997; Thiede, 2020).

De las ocho especies analizadas sólo *Yucca lacandonica* fue ubicada dentro de la categoría en peligro de extinción (P). Los valores más altos para esta especie se obtuvieron en los criterios A y D, que corresponden a la distribución e impacto de la actividad humana en la especie. Este taxón cuenta con una distribución restringida y el número de individuos por población también es limitado. Además, las actividades antrópicas han impactado notablemente sus poblaciones. Sin embargo, en la NOM-059-SEMARNAT-2010 esta especie se encuentra en la categoría A.

VIII DISCUSIÓN

8.1 Modelos de nicho ecológico

Phillips *et al.*, (2006) consideran que los modelos con buen rendimiento son aquellos cuyos valores de *AUC* y *ROC* se aproximan a uno. En este estudio 15 de los 17 modelos están cercanos a uno. Para *Y. arizonica*, *Y. madrensis*, *Y. periculosa*, *Y. schidigera* y *Y. schotti* se obtuvieron valores por arriba de 0.9; mientras que, *Y. baccata*, *Y. guatemalensis* y *Y. carnerosana* presentaron las validaciones más bajas de toda la sección, esto probablemente se deba a que las distancias entre los puntos de presencia estuvieron más alejadas, por lo tanto, los intervalos climáticos fueron más amplios, los modelos consideraron una mayor área donde esas variables climáticas están presentes y fue más difícil discriminar en el espacio geográfico, debido al tamaño de la *M* (área accesible a la dispersión) con la que se calibró MaxEnt.

Los modelos de este estudio están sobreajustados debido a las regularizaciones utilizadas por defecto del algoritmo, el incremento de éstas podría suavizar las curvas de respuesta, y por tanto disminuir las áreas predichas para cada especie (Elith *et al.*, 2011). No obstante, los modelos de *Yucca arizonica*, *Y. decipiens*, *Y. gloriosa*, *Y. grandiflora*, *Y. filifera*, *Y. lacandonica*, *Y. madrensis* y *Y. schidigera*, se consideran más precisos debido a que contemplan áreas en las que estas especies han sido observadas, pero aún no colectadas.

Yucca arizonica se distribuye en la frontera México–Estados Unidos de América, entre Arizona y Sonora donde hay áreas potenciales para que esta especie habite. No obstante, también estima regiones de California, Oregón,

Washington y Utah, esto no afecta la predicción elaborada por MaxEnt ya que estas regiones no tienen altos valores de idoneidad, y no forman parte de las localidades donde esta especie ha sido registrada.

De acuerdo con Matuda y Piña (1980), *Yucca decipiens* se distribuye en gran parte del Altiplano central que coincide con la predicción elaborada por el algoritmo, el cual además estima áreas dispersas al norte del Altiplano Mexicano y parte del Eje Neovolcánico. Sin embargo, este último se considera poco adecuado para la especie debido a que probablemente forme una barrera que impide que esta especie se distribuya hacia el sur de México. Por lo tanto, la mejor predicción está en el centro de México, donde se obtuvieron los valores más altos de idoneidad.

Las áreas potenciales predichas para *Yucca filifera* comprenden la mayoría del Altiplano Mexicano, la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. Si bien, esta especie se distribuye desde Coahuila y Nuevo León hasta la Ciudad de México (Rzedowski y Rzedowski, 2001) y los valores de adecuación son altos para la Sierra Madre del Sur, no se tienen registros de la especie en esta zona, y es poco probable que ahí se localice, así como en las regiones estimadas hacia el norte del Altiplano Mexicano. Además, esta especie ha sido afectada por los cambios de uso del suelo que ha reducido su hábitat natural.

Yucca gloriosa es la única especie de la sección *Yucca* endémica de Estados Unidos de América. Según Hess y Robbins (2002), se distribuye en los estados del sureste de este país, cerca de las costas del Golfo de México. En los resultados obtenidos en este estudio, esta región es altamente idónea, principalmente en los estados de Luisiana, Mississippi, Alabama y Florida. Si bien, el modelo sobreestima

áreas al oeste de Estados Unidos de América, estas registraron baja probabilidad y no se tiene conocimiento de que esta especie se distribuya en esos estados.

Yucca grandiflora es una especie endémica del este de Sonora, en los municipios de Álamos, Nacoziari y Bacanora (Matuda y Piña, 1980). Los resultados muestran que las áreas favorables para esta especie están próximas a su distribución real ubicadas entre la Sierra Madre Occidental, el Altiplano Mexicano y la provincia biogeográfica Sonorense, por lo tanto, el modelo es confiable y tiene un alto grado de predicción debido a que localizó áreas donde existen las mejores condiciones ambientales para que la especie se desarrolle, además, no ha sido registrada en otras áreas.

Yucca lacandonica es la única especie epífita del género, además habita bosques mesófilos, selvas medianas subcaducifolias y selvas altas perennifolias, un hábitat diferente al de la mayoría de las yucas, las cuales se distribuyen principalmente en zonas áridas o semiáridas. La principal área de distribución de *Y. lacandonica* está en el Istmo de Tehuantepec, que de acuerdo con el mapa de distribución potencial tiene alta idoneidad. Hay otras áreas donde esta especie podría distribuirse como Guatemala y Belice; sin embargo, en este estudio no se contó con registros para localidades fuera de México. El algoritmo también incluyó algunas zonas del Pacífico que no se consideran significativas debido a su estimación baja.

Los modelos de *Yucca madrensis* y *Y. schottii* estimaron áreas semejantes. Estas especies son similares en su morfología y distribución, además están filogenéticamente emparentadas (Clary, 1997; Lenz y Hanson, 2000; Ayala

comunicación personal), si se consideran como la misma especie, es probable que el modelo estime menos áreas a las predichas en los resultados de este estudio donde se analizaron como dos especies distintas. Ambas especies se distribuyen desde Arizona hasta Sonora y Chihuahua, en bosques de pino-encino. Su repartición se superpone con las áreas potenciales estimadas al noreste de México y la frontera con Estados Unidos de América, en la zona de transición entre el Desierto Chihuahuense, el norte de la Sierra Madre Occidental, el noreste del Altiplano Mexicano y el norte de la provincia biogeográfica Sonorense.

Los resultados del modelo de *Yucca schidigera* muestran áreas favorables dispersas al suroeste de Estados Unidos de América, entre California, Nevada y Arizona, donde habita naturalmente (Hess y Robins, 2002). Sin embargo, estos sitios no se detectaron con la homogeneidad esperada, probablemente por el sesgo de muestreo en los límites de estos tres estados. En México esta especie se distribuye solamente en Baja California (Matuda y Piña, 1980), donde tuvo una alta predicción y coincide de manera general con su distribución observada.

Para *Yucca baccata*, *Y. carnerosa*, *Y. faxoniana*, *Y. guatemalensis*, *Y. jaliscensis*, *Y. mixteca*, *Y. periculosa* y *Y. treculeana*, los modelos presentaron áreas que no forman parte de la distribución histórica de estas especies. Esto puede atribuirse a que M (área accesible) es muy amplia, o las variables que influyen en su distribución se encuentran en más de un espacio ambiental con esas mismas características, lo cual se ve reflejado en el espacio geográfico. Sin embargo, algunas de las zonas sobreestimadas en su mayoría resultaron con baja idoneidad.

Yucca carnerosana y *Y. faxoniana* son especies de zonas áridas y semiáridas de los matorrales del norte de México y sur de Estados Unidos de América (Matuda y Piña, 1980), principalmente en el Desierto Chihuahuense. Sus modelos presentan una distribución potencial al este del Eje Neovolcánico, el norte de la Sierra Madre Oriental y el este del Altiplano Mexicano, donde se encuentran la mayoría de los puntos de presencia, mientras que el oeste de esta última región presenta una idoneidad entre media y baja, igual que Baja California y Baja California Sur. Sin embargo, no han sido registradas en estos sitios ya que hay barreras naturales que limitan su distribución hacia estas áreas, entre ellas la Sierra Madre Occidental hacia el oeste, y el Eje Neovolcánico Transversal hacia el sureste (Villareal-Quintanilla *et al.*, 2017).

Yucca jaliscensis se distribuye en Jalisco, Colima y Guanajuato (Matuda y Piña, 1980), su modelo predice que tiene una distribución potencial con alta idoneidad sobre el Eje Neovolcánico, en donde incluye porciones del Estado de México. Sin embargo, no se encontraron registros para Colima y Guanajuato, pero sí para Nayarit, en todos los casos está incluida la distribución potencial. La predicción también incluyó con la misma probabilidad parte de la Sierra Madre Occidental donde probablemente haga falta exploración botánica, igual que en el Eje Neovolcánico; la Sierra Madre del Sur y la Costa del Pacífico en Chiapas, aunque tienen una alta idoneidad es poco probable que esta especie habite en esos sitios debido a que estas regiones presentan barreras geográficas que limitan su distribución.

Yucca mixteca es endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC), se distribuye simpátricamente con *Y. periculosa*, esta última también se ha registrado en los estados de Veracruz y Tlaxcala (García-Mendoza, 2011). Los modelos de ambas especies detectan con alta idoneidad la región del VTC, entre la Sierra Madre del Sur, el Eje Neovolcánico, y en el caso de *Y. periculosa* el oeste de la Depresión del Balsas, además de algunas áreas al noreste y suroeste del VTC. Si bien hay condiciones ambientales favorables para el desarrollo de ambas especies fuera del VTC, estas no han sido observadas en esas regiones, pues se desarrollan en hábitats particulares, además, hay barreras físicas que han impedido su dispersión.

El modelo de *Yucca treculeana* muestra áreas potenciales sobre una porción del Golfo de México, la provincia biogeográfica Tamaulipeca, el centro de la Sierra Madre Oriental, el norte del Altiplano Mexicano, la intersección entre el norte de la Sierra Madre Occidental y la provincia biogeográfica Sonorense, además de una pequeña región en el Eje Neovolcánico. Esta sobrepredicción se debe probablemente a que los puntos de ocurrencia se encuentran muy dispersos unos de otros y en diferentes tipos de vegetación. De acuerdo con Hess y Robbins (2002), *Y. treculeana* se localiza en el sur de Nuevo México y Texas en la Unión Americana, mientras que en México se distribuye en Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Durango (Matuda y Piña, 1980), en matorral desértico, bosques espinosos y bosque tropical deciduo (McKelvey, 1938;1947).

Los modelos de *Yucca baccata* y *Y. guatemalensis* fueron los que tuvieron mayor sobreajuste de sus respectivas áreas de distribución potencial. La primera

especie, se ubica desde el suroeste de Estados Unidos de América, principalmente en Arizona, Nuevo México, Colorado, Utah y Nevada, hasta el noroeste de México en Sonora y Chihuahua (Hess y Robbins, 2002). No obstante, la predicción considera áreas potenciales en la mayoría de los estados montañosos de los Estados Unidos de América, donde las serranías actúan como barreras físicas y limitan su ocurrencia fuera de su distribución actual. Es posible que la dispersión de los datos de ocurrencia haya influido en la predicción, tal como sucedió con *Y. treculeana*.

Con respecto al modelo de *Yucca guatemalensis*, éste considera gran parte del territorio nacional favorable para el desarrollo de esta especie. Sin embargo, aunque las condiciones ambientales de las áreas potenciales son similares a las de su distribución natural, no hay registros que indiquen su presencia en la región del Pacífico y centro de México. Su distribución histórica ocurre en el sureste de México y Guatemala (García-Mendoza y Lott, 1994; Tropicos®, 2009). Es probable que el sobreajuste esté relacionado con la dispersión de los puntos de presencia y el sesgo de muestreo de éstos, dado que los registros en estado silvestre son escasos en comparación con los provenientes de plantas cultivadas. Otras áreas con alta idoneidad fueron algunas porciones del Istmo de Tehuantepec y los altos de Chiapas, pero no hay registros que confirmen su presencia en estas regiones.

En general la mayoría de los modelos son confiables y se aproximan a la distribución conocida de las yucas estudiadas. Estos modelos pueden mejorarse si se utilizan datos más recientes en la calibración y validación de algunas especies, empleando otras fuentes de información además de las variables bioclimáticas,

entre ellas las topográficas (Martínez-Méndez *et al.*, 2016; Ponce, 2018). MaxEnt busca áreas con características climáticas similares a las de los puntos de presencia; sin embargo, esto no garantiza que las especies estén presentes, o que éstas ocupen todo el hábitat favorable (Elith *et al.*, 2011). Además, también es probable que haya registros provenientes de poblaciones sumidero que influyeron en el sobreajuste de algunas de las especies.

8.2 Análisis del Método de Evaluación de Riesgo (MER)

La evaluación del MER permitió determinar las categorías de riesgo de ocho especies silvestres de *Yucca*. Algunas como *Y. grandiflora* y *Y. lacandonica* ya habían sido evaluadas previamente y se encuentran dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, la primera fue ubicada como una especie bajo protección especial (Pr), mientras que la segunda como amenazada (A). Los resultados de este trabajo (1.85 y 2.88 como resultado de la sumatoria, respectivamente) permitieron reclasificarlas con base en información actualizada, que podría reflejar mejor su categoría de riesgo. Mediante el MER también es posible identificar aquellos factores que amenazan la permanencia de sus poblaciones. Los valores más altos de la evaluación para las especies de *Yucca* corresponden a la distribución e impacto de la actividad humana en la especie (criterios A y D).

Con respecto a *Yucca jaliscensis* los valores que contribuyeron mayormente a ubicarla como amenazada (A) corresponden a la amplitud de la distribución del taxón, la fragmentación de su hábitat, así como el tamaño y la dinámica de las poblaciones. En la misma categoría está *Y. mixtecana*, una especie que ocupa una superficie menor del 1% del territorio nacional, cuyo hábitat preferente es el matorral

xerófilo, el cual ha sido destruido o modificado por actividades antrópicas, esta situación fue corroborada durante las observaciones en el campo.

En la categoría bajo protección especial (Pr) están *Yucca carnerosana*, *Y. decipiens*, *Y. filifera* y *Y. periculosa*. En las tres especies su distribución abarca entre el 1 y el 5% del territorio mexicano, están presentes en diversas localidades y más de una provincia biogeográfica. En *Y. carnerosana* contribuyó que es una especie de la cual se extraen fibras a partir de sus hojas y tallos para elaborar diversos objetos, situación que ha afectado sus poblaciones (Rzedowski, 1957).

En relación con *Yucca filifera* las actividades antrópicas del criterio D (0.50), determinaron en mayor medida su categorización como especie amenazada, entre ellos están la fragmentación de su hábitat debido al incremento de las áreas de cultivo y su uso para elaborar diversos utensilios con las fibras extraídas de las hojas, éstas últimas también se usan para construir techos de casas habitación (Rzedowski, 1957; Matuda y Piña, 1980). Por último, *Y. periculosa* está sujeta a protección especial, debido a su distribución restringida, las afectaciones por el disturbio observadas en su hábitat las flores son comestibles y de las fibras foliares se elaboran cordeles (García-Mendoza, 2011).

Con la finalidad de evaluar el estado de riesgo de las especies que no fueron incluidas en este estudio por distribuirse fuera de México, se sugiere que en un análisis subsecuente se utilice otra metodología para evaluarlas, por ejemplo, la de la IUCN. En el MER el criterio A es el que tiene un mayor peso relativo en el puntaje final de la evaluación, y no permite asignar valores de 0 cuando no se conoce la información (Sánchez *et al.*, 2007). Además, este criterio incluye subcriterios

relacionados con la extensión del taxón, provincias biogeográficas y tipos de vegetación donde se localizan las especies que sólo aplican para el territorio nacional, y no se puede excluir un criterio completo para realizar la evaluación. Otras limitantes del MER radican en su dependencia en la calidad de la información, o bien, la falta de datos influye en la aplicación de los criterios (Valverde *et al.* 2009).

IX CONCLUSIONES

El perfil bioclimático mostró que las variables que explican mejor la distribución de las especies de la sección *Yucca* fueron las temperaturas medias de los meses más cálidos y precipitaciones de los meses más húmedos. Esto se corresponde parcialmente con los hábitats áridos y semiáridos en los que se distribuyen al menos ocho especies de las yucas aquí estudiadas. La otra mitad se presenta en ambientes transicionales entre zonas áridas y templadas, y solamente *Y. lacandonica* se desarrolla en climas principalmente templados o cálido-húmedos.

La mayoría de los modelos de distribución mostraron buen rendimiento, por lo tanto, se consideran buenos predictores. Para mejorar estos modelos será importante considerar en estudios posteriores registros más recientes, reducir el tamaño de la *M* (área accesible a la dispersión), incrementar las regularizaciones del algoritmo, realizar muestreos dirigidos que incluyan ausencias y evaluar otras variables, entre ellas las topográficas, en particular para algunas especies como *Yucca baccata* y *Y. guatemalensis*, cuyos modelos presentaron mayor sobreajuste. En relación con las especies cultivadas su evaluación presenta limitantes, debido principalmente a que los registros de sus poblaciones silvestres son escasos, por

lo que es necesario buscar más datos de su distribución geográfica natural realizando más salidas al campo.

Los modelos de *Y. arizonica*-*Y. baccata* *Yucca madrensis*-*Y. schottii* y son similares geográficamente, estas especies han sido controversiales con respecto a su delimitación taxonómica, la comparación de sus nichos mediante otros métodos diferentes al de MaxEnt, permitiría determinar con mayor precisión su afinidad o su definición como especies diferentes.

Si bien el MER es una herramienta que ha sido utilizada para determinar la categoría de riesgo de muchas especies, entre ellas, las yucas mexicanas con fruto carnoso, es un método sensible al tipo y cantidad de información disponible. Además, está supeditado a las especies que se distribuyen sólo o principalmente en territorio mexicano. En este estudio la información generada permitió reevaluar las categorías de riesgo para especies que la NOM-059-SEMARNAT ya había asignado. Los subcriterios con mayor puntaje que determinaron en gran medida la categoría de riesgo corresponden a la amplitud de la distribución del taxón y el impacto de las actividades antrópicas (criterios A y D). Sin embargo, el MER tiene limitantes para aplicarse a las especies que se distribuyen fuera de México, por lo tanto, se sugiere que para evaluar las especies de *Yucca* que no fueron analizadas en este estudio, se aplique el método de la IUCN.

X LITERATURA CITADA

- Alercia, D., M. A. Giorgis, G. Funes y A. Cosacov Martinez. 2017. Rango geográfico y estructura espacial de linajes genéticos en *Sophora linearifolia* (Fabaceae), un arbusto endémico de las sierras centrales de Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. **52 (1)**: 141-152.
- Althoff, D. M., K. A. Segraves, C. I. Smith, J. Leebens-Mack y O. Pellmyr. 2012. Geographic isolation trumps coevolution as a driver of yucca and yucca moth diversification. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **62(3)**: 898-906.
- Alvarado-Serrano, D. F. y L. L. Knowles. 2014. Ecological niche models in phylogeographic studies: applications, advances and precautions. *Molecular ecology resources*. **14(2)**: 233-248.
- Aragón, P., A. Baselga y J. M. Lobo. 2010. Global estimation of invasion risk zones for the western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera*: integrating distribution models and physiological thresholds to assess climatic favourability. *Journal of Applied Ecology*. **47(5)**: 1026-1035.
- Araújo, M. B., R. G. Pearson, W. Thuiller y M. Erhard. 2005. Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology*. **11(9)**: 1504-1513.
- Ávila-Coria, R., R. Villavicencio-García y J. A. Ruiz-Corral. 2014. Distribución potencial de *Pinus herrerae* Martínez en el occidente del estado de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. **5(24)**: 92-109.

- Baker, J. G. 1880. A synopsis of *Aloineae* and *Yuccoideae*. (Conclusion). *Botanical Journal of the Linnean Society*. **18(109)**: 195-241.
- Baldwin, R. A. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*. **11(4)**: 854-866.
- Ballesteros-Barrera, C., O. Aguilar-Romero, R. Zárate-Hernández y L. Ballesteros-Tapia. 2017. Distribución geográfica y conservación de nueve especies del género *Ferocactus* (Cactaceae) en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. **40(2)**: 131-140.
- Barbet-Massin, M., Rome, Q., Villemant, C. y Courchamp, F. 2018. Can species distribution models really predict the expansion of invasive species? *PloS one*. **13(3)**: e0193085.
- Beaumont, L. J., L. Hughes y M. Poulsen. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling*. **186(2)**: 251–270.
- Benito, B. y J. Peñas. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. **(7)**: 100-119.
- Botello, F., V. Sánchez-Cordero y M. A. Ortega-Huerta. 2015. Disponibilidad de hábitats adecuados para especies de mamíferos a escalas regional (estado

- de Guerrero) y nacional (México). *Revista mexicana de Biodiversidad*. **86(1)**: 226-237.
- Busby, J. R. 1991. BIOCLIM - A Bioclimatic Analysis and Prediction System. Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis. Margules CR, Austin MP eds. CSIRO, Canberra.
- Carpenter, G., A. N. Gillison y J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity & Conservation*. **2(6)**: 667-680.
- Carrillo, L. H. 2018. Estado de conservación del género *Polianthes* spp. (Agavoideae) en Michoacán. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.
- Castaño-Quintero, S., J. Escobar-Luján, L. Osorio-Olvera, A. T. Peterson, X. Chiappa-Carrara, E. Martínez-Meyer y C. Yañez-Arenas. 2020. Supraspecific units in correlative niche modeling improves the prediction of geographic potential of biological invasions. *PeerJ*. **8**: e10454.
- Chan, L. M., J. L. Brown y A. D. Yoder. 2011. Integrating statistical genetic and geospatial methods brings new power to phylogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **59(2)**: 523-537.
- Clary, H. K. 1997. Phylogeny, character evolution and biogeography of *Yucca* L. (Agavaceae) as inferred from plant morphology and sequences of the internal

transcribed spacer (ITS) region of the nuclear ribosomal DNA. *PhD. Dissertation, University of Texas*. Austin, Texas.

Clary, H. K. y B. B., Simpson. 1995. Systematics and character evolution of the genus *Yucca L.* (Agavaceae): Evidence from morphology and molecular analyses. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **56**: 77-88.

Conabio. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1997. Provincias biogeográficas de México. México, D.F. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>.

Cunze, S. y O. Tackenberg. 2015. Decomposition of the maximum entropy niche function—A step beyond modelling species distribution. *Environmental Modelling & Software*. **72**: 250-260.

Dudík, M., S. J. Phillips y R. E. Schapire. 2007. Maximum entropy density estimation with generalized regularization and an application to species distribution modeling. *Journal of Machine Learning*. **8**: 1217-1260

Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. McC. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. S. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz, y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. **29**: 129-151.

- Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee y C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*. **17(1)**: 43-57.
- Elton, C. S. 1927. Animal ecology. Sidgwick & Jackson. London.
- Engelmann, G. 1871. *Yucca* and *Hesperalöe*. Watson's Botany of the Fortieth Parallel. Report of the United States Geological Exploration of the Fortieth Parallel. Clarence King, Geologist in charge. V Supplement. Government Printing Office, Washington.
- Engelmann, G. 1873. Notes on the Genus *Yucca*. *Transactions of the Academy of Science of St. Louis*. **3**: 17–54.
- ESRI. 2016. ArcGIS Desktop: Release 10.5. Environmental Systems Research Institute. Redlands, USA.
- Felicísimo, A. M., J. Muñoz, R. G. Mateo y C. J. Villalba. 2012. Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. *Ecosistemas*. **21(3)**: 1-6.
- Feng, X., D. S. Park, C. Walker, A. T. Peterson, C. Merow y M. Papeş. 2019. A checklist for maximizing reproducibility of ecological niche models. *Nature Ecology & Evolution*. **3(10)**: 1382-1395.
- Feria-Arroyo, T. P. y A. Peterson. 2002. Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions*. **8**: 49 - 56.
- Feria-Arroyo, T. P., E. Solano y A. García-Mendoza. 2010. Reevaluación del riesgo de extinción de cinco especies del género *Polianthes* L. (Agavaceae). *Acta Botánica Mexicana*. **92**: 11-28.

- Ferrier, S., G. Manion, J. Elith y K. Richardson. 2007. Using generalized dissimilarity modelling to analyse and predict patterns of beta diversity in regional biodiversity assessment. *Diversity and Distributions*. **13(3)**: 252-264.
- Fick, S. E. y R. J. Hijmans. 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.
- Franklin, J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
- Galván, R. 2001. *Yucca*. Pág. 1250. In: Flora Fanerogámica del Valle de México. G. C. Rzedowski, J. Rzedowski y (eds.) Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- García-Aranda, M. A., C. Cantú-Ayala, E. Estrada-Castillón, M. Pando-Moreno y A. Moreno-Talamantes. 2012. Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (*Taxaceae*) en México. *Botanical Research Institute of Texas*. **6(2)**: 587– 598
- García-Mendoza, A. y E.J. Lott. *Yucca*. G. Davidse, M. Sousa Sánchez y A.O. Chater, eds.1994. Flora Mesoamericana: *Alismataceae* a *Cyperaceae*. Vol. 6. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Agavaceae. Fascículo 88. Jardín Botánico Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. México D.F. **88**: 1-95.

- Gaston, K. 2003. The structure and dynamics of geographic ranges. Oxford University Press. Oxford.
- Good-Avila, S. V., V. Souza, B. S. Gaut y L. E. Eguiarte. 2006. Timing and rate of speciation in *Agave* (Agavaceae). *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **103(24)**: 9124-9129.
- Granados-Sánchez, D. y G. F. López-Ríos. 1998. *Yucca* "Izote" del desierto. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. **4(1)**: 179-192.
- Grinnell, J. 1917. Field tests of theories concerning distributional control. *The American Naturalist*. **51**:115–128.
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*. **34(4)**: 427-433.
- Grinnell, J. 1924. Geography and Evolution. *Ecology*. **5(3)**: 225–229.
- Grinnell, J. 1928. Presence and absence of animals. Univ. Calif. Chron. **30**: 429-450.
- Guevara, L. 2020. Altitudinal, latitudinal and longitudinal responses of cloud forest species to Quaternary glaciations in the northern Neotropics. *Biological Journal of the Linnean Society*. **130(3)**: 615-625.
- Guevara, L. y L. León-Paniagua. 2019. How to survive a glaciation: the challenge of estimating biologically realistic potential distributions under freezing conditions. *Ecography*. **42(6)**: 1237-1245.
- Guisan, A. y N. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling*. **135**: 147-186.

- Guisan, A., R. Tingley, J. B. Baumgartner, I. Naujokaitis-Lewis, P. R. Sutcliffe, A. I. Tulloch, T. J. Regan, L. Brotons, E. McDonald-Madden, C. Mantyka-Pringle, T. G. Martin, J. R. Rhodes, R. Maggini, S. A. Setterfield, J. Elith, M. W. Schwartz, B. A. Wintle, O. Broennimann, M. Austin, S. Ferrier, M. R. Kearney, H. P. Possingha e Y. M. Buckley. 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*. **16(12)**: 1424-1435.
- Guitérrez, E., e I. Trejo. 2014. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **85(1)**: 179-188.
- Hawkins, B. A., J. A. F. Diniz-Filho, C. A. Jaramillo y S. A. Soeller. 2006. Post-Eocene climate change, niche conservatism, and the latitudinal diversity gradient of New World birds. *Journal of Biogeography*. **33(5)**: 770-780.
- Hernández-Ramos, J., R. Reynoso-Santos, A. Hernández-Ramos, X. García-Cuevas, E. Hernández-Máximo, J. V. Cob-Uicab y D. Sumano-López. 2018. Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta Botánica Mexicana*. **(124)**: 117-134.
- Hess, W. H y Robins, L. 1996. *Yucca*. In: Flora of North America Editorial Committee, eds. 1993+. Flora of North America North of Mexico. 21+ vols. New York and Oxford. Vol. 26.
- Hijmans, R.J. y C. H. Graham. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*. **12**: 2272–2281

- Hirzel, A. H., J. Hausser, D. Chessel y N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*. **83(7)**: 2027-2036.
- Hortal, J. 2008. Uncertainty and the measurement of terrestrial biodiversity gradients. *Journal of Biogeography*. **35(8)**: 1335-1336.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology*. **22**: 415–427.
- Hutchinson, G. E. 1965. *The Ecological Theater and the Evolutionary Play*. New Haven. Yale University Press.
- Ibarra-Montoya, G. Rangel-Peraza, F. A. González-Farías, J. De Anda, M. E. Zamudio-Reséndiz, E. Martínez-Meyer y H. Macias-Cuellar. 2010. Modelo de nicho ecológico para predecir la distribución potencial de fitoplancton en la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa, Nayarit. México. *Ambi-Agua*. **5(3)**: 60–75.
- IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Illoldi-Rangel, P. y T. Escalante. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*. **3**: 7-12.
- INEGI. 2017. Archivo histórico de localidades geoestadísticas. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/geo2/ahl/>. Consulta marzo, 2019.
- IPNI. 2019. International Plant Names Index. Published on the Internet <http://www.ipni.org>. The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens. Consulta diciembre, 2019.

- IUCN. 2017. Directrices para emplear los criterios de la Lista Roja de la IUCN. Versión 13. Comisión de la Supervivencia de Especies de la IUCN. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Jakob, S. S., C. Heibl, D. Rödder y F. R. Blattner. 2010. Population demography influences climatic niche evolution: evidence from diploid American *Hordeum* species (Poaceae). *Molecular Ecology*. **19(7)**: 1423-1438.
- Johnson, R. H. 1910. Determinate evolution in the color-pattern of the lady-beetles. Carnegie Institution of Washington.
- JStor Global Plants*. 2017. <https://plants.jstor.org>. Consulta diciembre 2019.
- Leal-Nares, Ó., M. E. Mendoza, D. Pérez-Salicrup, D. Geneletti, E. López-Granados y E. Carranza. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **83(4)**: 1152-1170.
- Lenz, L. W. y M. A. Hanson. 2000. Typification and change in status of *Yucca schottii* (Agavaceae). *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*. **19(1)**: 93-98.
- Loarie, S. R., P. B. Duffy, H. Hamilton, G. P. Asner, C. B. Field y D. D. Ackerly. 2009. The velocity of climate change. *Nature*. **462**: 1052-1055.
- Lobo, J. M., A. Jiménez-Valverde y R. Real. 2007. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*. **17**: 145-151.

- Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de Herbario, administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional de la Flora de México, México, D. F.
- Maciel-Mata, C. A., N. Manríquez-Morán, P. Octavio-Aguilar y G. Sánchez-Rojas. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*. **25(2)**: 3–19.
- Maggini, R., A. Lehmann, N. E. Zimmermann y A. Guisan. 2006. Improving generalized regression analysis for the spatial prediction of forest communities. *Journal of Biogeography*. **33(10)**: 1729-1749.
- Martínez-Calderas, J. M., A. D. Hernández-Saintmartín, O. C. Rosas-Rosas, J. Palacio-Núñez, J. A. Villordo-Galván y A. Olivera-Méndez. 2016. Potential distribution of margay (*Leopardus wiedii*, Schinz 1821) in Northeastern Mexico. *THERYA*. **7(2)**: 241-255.
- Martínez-Méndez, N., E. Aguirre-Planter, L. E. Eguiarte y J. P. Jaramillo-Correa. 2016. Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*. **94(1)**: 5-24.
- Martínez-Meyer, E., A. T. Peterson y W.W. Hargroves. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*. **13**: 305–314.

- Mateo, R. G., Á. M. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*. **84(2)**: 217-240.
- Matuda, E. e I. Piña. 1980. Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Serie Fernando de Alva Ixtlilxochitl. Colección Miscelánea del Estado de México. Toluca, México.
- McKelvey, S. D. 1938–1947. *Yuccas of the Southwestern United States*. Part. I y II. *Arnold Arboretum of Harvard Univ. Jamaica Plains. Mass.*
- Minitab Inc. Minitab Statical Software. 2019. State Collage Pennsylvania, Pennsylvania.
- Miranda, F. D. P. y E. Hernández -X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **28**: 29-179
- Mota-Vargas, C., A. Encarnación-Luévano, H. M. Ortega-Andrade, D. A. Prieto-Torres, A. Peña-Peniche y O. R. Rojas-Soto. 2019. Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/LiberMex, Ciudad de México.
- Nakazawa, Y., A. T. Peterson, E. Martínez-Meyer y A. Navarro-Sigüenza. 2004. Seasonal Niches of Nearctic-Neotropical Migratory Birds: Implications for the Evolution of Migration. *Auk*. **121**: 610-618.
- New York Botanical Garden, 2017. <http://sweetgum.nybg.org/science/vh/>. Consulta diciembre, 2019.

- Olson, M. E. y L. O. Alvarado-Cárdenas. 2016. ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleífera*, ¿en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **87(3)**: 1089-1102.
- Pearson, R. G., C. J. Raxworthy, M. Nakamura, y A. T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*. **34(1)**: 102-117.
- Pellmyr, O., K. A. Seagraves, D. M. Althoff, M. Balcázar-Lara y J. Leebens-Mack. 2007. The phylogeny of yuccas. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **43(2)**: 493-501.
- Pérez-García, B. y J. Liria. 2013. Modelos de nicho ecológico fundamental para especies del género *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **84(2)**: 600-611.
- Peterson, A. T. 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor*. **103**: 599–605.
- Peterson, A. T. y J. Soberón. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação*. **10(2)**: 102-107.
- Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M. B. Araújo. 2011. Ecological niches and geographic distributions. *Princeton*. Princeton University Press.

- Peterson, A. T., M. Papes y J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modelling. *Ecological Modelling*. **213**: 63–72.
- Phillips, S. J. 2005. A brief tutorial on Maxent. *AT&T Research*. **190(4)**: 231-259.
- Phillips, S. J. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. **31(2)**: 161–175.
- Phillips, S. J., M. Dudík, J. Elith, C. H. Graham, A. Lehmann, J. Leathwick y S. Ferrier. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological applications*. **19(1)**: 181-197.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. **190**: 231-259.
- Pliscoff, P. y 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. *Revista de Geografía Norte Grande*. **48**: 61-79.
- Pocheville, A. 2015. The ecological niche: history and recent controversies. In *Handbook of evolutionary thinking in the sciences*. Springer, Dordrecht.
- Ponce, G. 2018. Análisis de la distribución de los mamíferos acuáticos epicontinentales de México. Tesis de licenciatura. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

- Portillo, M. T. E. y J. A. S. Plata. 2008. P. CH. Mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*. **5(27)**: 13-20.
- Pyron, R. A., G. C. Costa, M. A. Patten y F. T. Burbrink. 2014. Phylogenetic niche conservatism and the evolutionary basis of ecological speciation. *Biological Reviews*. **90(4)**: 1248-1262.
- Qiao, H., J. Soberón y A. T. Peterson. 2015. No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution*. **6**:1126–1136.
- Quesada-Quirós, M., L. G. Acosta-Vargas, D. Arias-Aguilar y A. Rodríguez-González. 2017. Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. **14(34)**: 01-12.
- Renteria, L. y C. Cantú. 2003. El efecto de *Tegeticula yuccasella* Riley (Lepidoptera: Prodoxidae) sobre la fenología reproductiva de *Yucca filifera* Chabaud (Agavaceae) en Linares, NL, México. *Acta Zoológica Mexicana*. **(89)**: 85-92.
- Rissler, L. J., R. J. Hijmans, C. H. Graham, C. Moritz y D. B. Wake. 2006. Phylogeographic lineages and species comparisons in conservation analyses: a case study of California herpetofauna. *The American Naturalist*. **167(5)**: 655-666.

- Rodríguez, J. P., J. K. Balch y K. M. Rodríguez-Clark. 2007. Assessing extinction risk in the absence of species-level data: quantitative criteria for terrestrial ecosystems. *Biodiversity and Conservation*. **16(1)**: 183-209.
- Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán.
- Rzedowski, J. 1957. Notas sobre la flora y la vegetación del estado de San Luis Potosí. IV. Un género nuevo y dos especies poco conocidas de la parte árida del estado. *Ciencia (México)*. **16(7-8)**: 139-142.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial 1: 4000 000, IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Primera edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
- Sánchez, O., R. Medellín, A. Aldama., B. Goettsch., J. Soberón y M. Tambutti. 2007. Método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER). Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Saupe, E. E., V. Barve, C. E. Myers, J. Soberón, N. Barve, C. M. Hensz, A.T. Peterson, H.L. Owens y A. Lira-Noriega. 2012. Variation in niche and distribution model performance: the need for a priori assessment of key causal factors. *Ecological Modelling*. **237**:11–22.

- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.
- Serrano-Rodríguez, A., G. E. Segura, A. H. P. Vázquez, E. E. I. Elias, y L. Ruiz-Montoya. 2017. Distribución potencial y conectividad del paisaje: criterios para reevaluar el grado de amenaza de *Campylorhynchus yucatanicus* (Aves: Troglodytidae). *Revista de Biología Tropical*. **65(4)**: 1554-1568.
- Sierra-Morales, P., R. C. Almazán-Núñez, E. Beltrán-Sánchez, C. Ríos-Muñoz y M. Arizmendi. 2016. Distribución geográfica y hábitat de la familia *Trochilidae* (Aves) en el estado de Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical*, **64(1)**: 363-376.
- Smith, C. I., O. Pellmyr, D. M. Althoff, M. Balcazar-Lara, J. Leebens-Mack y K. A. Segraves. 2008. Pattern and timing of diversification in *Yucca* (Agavaceae): specialized pollination does not escalate rates of diversification. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. **275(1632)**: 249-258.
- Soberón, J. y A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. **2**: 1–10.
- Soberón, J. y M. Nakamura. 2009. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **106(2)**: 19644–19650.

- Soberón, J., L. Osorio-Olvera y A. T. Peterson. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **88(2)**: 437–441.
- Solano, E. y T. Feria. 2007. Ecological niche modeling and geographic distribution of the genus *Polianthes* L. (Agavaceae) in Mexico: using niche modeling to improve assessments of risk status. *Biodiversity and Conservation*. **16**: 1885–1900.
- Song, Y.G., B. Petitpierre, M. Deng, J.P. Wu y G. Kozłowski. 2019. Predicting climate change impacts on the threatened *Quercus arbutifolia* in montane cloud forests in southern China and Vietnam: Conservation implications. *Forest Ecology and Management*. **444**: 269-279.
- Speirs, D. C. (1979). *Yucca glauca* (Agavaceae) in western Canada. *National Cactus and Succulent Journal (UK)*.
- Stockwell, D. y D. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*. **13(2)**: 143-158.
- Stranges, S., A. P. Cuervo-Robayo, E. Martínez-Meyer, H. N. Morzaria-Luna y H. Reyes-Bonilla. 2019. Distribución potencial bajo escenarios de cambio climático de corales del género *Pocillopora* (Anthozoa: Scleractinia) en el Pacífico oriental tropical. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **90**: 1-16.
- Svenning, J. C. y F. Skov. 2004. Limited filling of the potential range in European tree species. *Ecology Letters*. **7**: 565–573.

- Terribile, L.C., J. A. F. Diniz-Filho y P. De Marco Jr. 2010. How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions? Inductive reasoning may fail at the end. *Brazilian Journal of Biology*. **70**: 263–269.
- The Plant List. 2013. Versión 1.1. <http://www.theplantlist.org/>. Consulta enero, 2019.
- Thiede, J. 2020. *Yucca* Agavaceae. En U. Eggli y R. Nyffeler (eds.). *Monocotyledons. Illustrated handbook of succulent plants*. 2a ed. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Trelease, W. 1902. The *Yuceae*. Missouri Botanical Garden Annual Report. **13**: 27–133.
- Trelease, W. 1911. The desert group Nolineae. *Proceedings of the American Philosophical Society*.
- Tropicos®. Missouri Botanical Garden. <http://legacy.tropicos.org/Home.aspx>. Consulta, diciembre 2019.
- Tropicos®, 2009. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org/Name/18404221>. Consulta, julio 2021.
- Unión Internacional Para La Conservación De La Naturaleza (UICN). 2019. Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: versión 14. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN.
- Urbina-Cardona, J. N. y O. Flores-Villela. 2010. Ecological-niche modeling and prioritization of conservation-area networks for Mexican herpetofauna. *Conservation Biology*. **24(4)**: 1031-1041.

- Valverde, P. L., J. A. Zavala-Hurtado, C. Jiménez-Sierra, B. Rendón-Aguilar, A. Cornejo-Romero, S. Rivas-Arancibia, G. López-Ortega y M.A. Pérez-Hernández. 2009. Evaluación del riesgo de extinción de *Mammillaria pectinifera*, cactácea endémica de la región de Tehuacán-Cuicatlán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **80(1)**: 219-230.
- Villarreal-Quintanilla, J. A., J. A. Bartolomé-Hernández, E. Estrada-Castillón, H. Ramírez-Rodríguez y S. J. Martínez-Amador. 2017. El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana*. **(118)**: 65-96.
- Warren, D. L. y S. N. Seifert. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*. **21(2)**: 335-342.
- Webber, J. M. 1953. Yuccas of the southwest (No. 17). Department of Agriculture. US.
- Wiens, J. J. y C. H. Graham. 2005. Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. **36**: 519-539.
- Yousefi, M., S. Heydari-Guran, A. Kafash y E. Ghasidian. 2020. Species distribution models advance our knowledge of the Neanderthals' paleoecology on the Iranian Plateau. *Scientific Reports*. **10(1)**: 1-9.

Yucca arizonica

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------|--------------|--------------|
| tma | 14.35 | 21.57 |
| rmd | 12.47 | 20.78 |
| iso | 39.95 | 55.43 |
| edt | 610.46 | 783.05 |
| tmmc | 28.80 | 40.60 |
| tmmf | -4.30 | 4.10 |
| rat | 29.50 | 38.20 |
| tmth | 11.60 | 30.22 |
| tmts | 16.15 | 23.35 |
| tmtc | 22.02 | 30.22 |
| tmtf | 6.18 | 13.62 |
| pa | 152.00 | 602.00 |
| pmh | 27.00 | 178.00 |
| pms | 1.00 | 9.00 |
| edp | 46.53 | 110.05 |
| ptmh | 66.00 | 373.00 |
| ptms | 4.00 | 36.00 |
| ptmc | 66.00 | 341.00 |
| ptmf | 48.00 | 157.00 |

ANEXO I. PERFILES BIOCLIMÁTICOS PARA LAS ESPECIES DE *Yucca* ANALIZADAS

Significado de las abreviaturas: tma=temperatura (°C) media anual, rmd= rango medio diurno, iso= isothermalidad, edt= estacionalidad de la temperatura, tmmc= temperatura máxima del mes más cálido, tmmf= temperatura mínima del mes más frío, rat= rango anual de temperatura, tmth= temperatura media del trimestre más húmedo, tmts= temperatura media del trimestre más seco, tmtc= temperatura media del trimestre más cálido, tmtf= temperatura media del trimestre más frío, pa= precipitación anual, pmh=precipitación (mm) del mes más húmedo, pms= precipitación del mes más seco, edp= estacionalidad de la precipitación, ptmh= precipitación del trimestre más húmedo, ptms= precipitación del trimestre más seco, ptmc=precipitación del trimestre más cálido, ptmf=precipitación del trimestre más frío.

Yucca baccata

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 4.89 | 22.05 |
| rmd | 10.73 | 21.94 |
| iso | 33.14 | 55.01 |
| edt | 632.47 | 929.28 |
| tmmc | 20.10 | 40.60 |
| tmmf | -14.40 | 3.40 |
| rat | 30.00 | 43.60 |
| tmth | -1.12 | 31.35 |
| tmts | 0.97 | 25.22 |
| tmtc | 13.75 | 31.65 |
| tmtf | -3.33 | 12.97 |
| pa | 176.00 | 678.00 |
| pmh | 22.00 | 141.00 |
| pms | 2.00 | 31.00 |
| edp | 25.22 | 95.31 |
| ptmh | 57.00 | 311.00 |
| ptms | 14.00 | 119.00 |
| ptmc | 44.00 | 274.00 |
| ptmf | 30.00 | 193.00 |

Yucca carnerosana

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 12.03 | 21.58 |
| rmd | 12.88 | 19.33 |
| iso | 40.05 | 69.71 |
| edt | 247.29 | 781.77 |
| tmmc | 22.10 | 37.00 |
| tmmf | -3.80 | 8.20 |
| rat | 20.80 | 39.10 |
| tmth | 14.18 | 26.47 |
| tmts | 10.68 | 18.98 |
| tmtc | 14.70 | 29.15 |
| tmtf | 6.45 | 16.97 |
| pa | 194.00 | 644.00 |
| pmh | 37.00 | 157.00 |
| pms | 2.00 | 17.00 |
| edp | 45.95 | 112.58 |
| ptmh | 98.00 | 352.00 |
| ptms | 10.00 | 63.00 |
| ptmc | 91.00 | 322.00 |
| ptmf | 20.00 | 121.00 |

Yucca decipiens

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 15.33 | 20.76 |
| rmd | 14.41 | 18.92 |
| iso | 62.66 | 70.63 |
| edt | 274.55 | 408.89 |
| tmmc | 26.20 | 32.50 |
| tmmf | 1.70 | 7.30 |
| rat | 22.10 | 28.90 |
| tmth | 17.92 | 23.38 |
| tmts | 14.08 | 17.43 |
| tmtc | 18.70 | 24.10 |
| tmtf | 10.93 | 16.23 |
| pa | 314.00 | 585.00 |
| pmh | 53.00 | 150.00 |
| pms | 2.00 | 12.00 |
| edp | 63.11 | 107.98 |
| ptmh | 141.00 | 376.00 |
| ptms | 12.00 | 50.00 |
| ptmc | 121.00 | 266.00 |
| ptmf | 22.00 | 53.00 |

Yucca faxoniana

| Variables | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 3.09 | 20.94 |
| rmd | 12.38 | 18.43 |
| iso | 41.54 | 62.79 |
| edt | 406.99 | 793.02 |
| tmmc | 18.80 | 37.10 |
| tmmf | -13.10 | 4.90 |
| rat | 27.30 | 39.50 |
| tmth | 10.97 | 26.85 |
| tmts | 4.60 | 18.30 |
| tmtc | 11.12 | 27.55 |
| tmtf | -3.58 | 13.23 |
| pa | 223.00 | 782.00 |
| pmh | 38.00 | 128.00 |
| pms | 2.00 | 22.00 |
| edp | 51.32 | 101.55 |
| ptmh | 106.00 | 330.00 |
| ptms | 12.00 | 76.00 |
| ptmc | 100.00 | 276.00 |
| ptmf | 18.00 | 193.00 |

Yucca filifera

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 13.30 | 23.40 |
| rmd | 12.26 | 19.44 |
| iso | 41.61 | 77.77 |
| edt | 166.04 | 663.64 |
| tmmc | 22.50 | 37.10 |
| tmmf | 1.00 | 12.00 |
| rat | 17.80 | 31.80 |
| tmth | 14.45 | 28.55 |
| tmts | 11.08 | 22.00 |
| tmtc | 15.33 | 30.47 |
| tmtf | 10.70 | 19.83 |
| pa | 237.00 | 1233.00 |
| pmh | 40.00 | 258.00 |
| pms | 1.00 | 22.00 |
| edp | 47.46 | 118.31 |
| ptmh | 114.00 | 746.00 |
| ptms | 10.00 | 72.00 |
| ptmc | 102.00 | 425.00 |
| ptmf | 19.00 | 73.00 |

Yucca gloriosa

| Variables | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 17.21 | 20.88 |
| rmd | 5.38 | 13.86 |
| iso | 25.39 | 42.06 |
| edt | 600.52 | 733.47 |
| tmmc | 30.60 | 34.30 |
| tmmf | 0.00 | 10.00 |
| rat | 21.20 | 34.00 |
| tmth | 9.92 | 27.78 |
| tmts | 13.48 | 23.17 |
| tmtc | 25.90 | 27.95 |
| tmtf | 7.95 | 13.42 |
| pa | 1194.00 | 1616.00 |
| pmh | 132.00 | 184.00 |
| pms | 62.00 | 94.00 |
| edp | 16.92 | 35.45 |
| ptmh | 373.00 | 518.00 |
| ptms | 212.00 | 334.00 |
| ptmc | 306.00 | 483.00 |
| ptmf | 257.00 | 449.00 |

Yucca grandiflora

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------|--------------|--------------|
| tma | 12.46 | 23.65 |
| rmd | 15.99 | 20.85 |
| iso | 50.00 | 58.40 |
| edt | 510.82 | 675.10 |
| tmmc | 27.50 | 40.90 |
| tmmf | -3.30 | 5.70 |
| rat | 30.80 | 37.90 |
| tmth | 18.72 | 30.03 |
| tmts | 11.28 | 22.77 |
| tmtc | 19.25 | 30.67 |
| tmtf | 5.77 | 16.28 |
| pa | 388.00 | 934.00 |
| pmh | 104.00 | 257.00 |
| pms | 3.00 | 13.00 |
| edp | 74.24 | 110.24 |
| ptmh | 229.00 | 582.00 |
| ptms | 21.00 | 60.00 |
| ptmc | 205.00 | 550.00 |
| ptmf | 75.00 | 200.00 |

Yucca guatemalensis

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------|--------------|--------------|
| tma | 11.49 | 26.78 |
| rmd | 8.54 | 16.23 |
| iso | 52.49 | 86.31 |
| edt | 60.16 | 383.00 |
| tmmc | 20.90 | 35.70 |
| tmmf | 0.70 | 18.50 |
| rat | 12.10 | 23.10 |
| tmth | 12.35 | 28.32 |
| tmts | 9.45 | 26.22 |
| tmtc | 12.97 | 28.63 |
| tmtf | 9.45 | 24.22 |
| pa | 589.00 | 3310.00 |
| pmh | 130.00 | 626.00 |
| pms | 1.00 | 58.00 |
| edp | 51.53 | 114.54 |
| ptmh | 343.00 | 1746.00 |
| ptms | 6.00 | 193.00 |
| ptmc | 231.00 | 1089.00 |
| ptmf | 6.00 | 234.00 |

Yucca jaliscensis

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 20.92 | 20.92 |
| rmd | 9.96 | 16.75 |
| iso | 66.43 | 72.36 |
| edt | 188.52 | 256.85 |
| tmmc | 23.00 | 32.10 |
| tmmf | 4.60 | 9.90 |
| rat | 14.90 | 24.50 |
| tmth | 17.00 | 23.05 |
| tmts | 14.07 | 19.93 |
| tmtc | 17.37 | 23.43 |
| tmtf | 11.87 | 17.60 |
| pa | 818.00 | 1690.00 |
| pmh | 181.00 | 406.00 |
| pms | 2.00 | 8.00 |
| edp | 95.05 | 120.29 |
| ptmh | 487.00 | 1181.00 |
| ptms | 16.00 | 29.00 |
| ptmc | 359.00 | 1026.00 |
| ptmf | 37.00 | 106.00 |

Yucca lacandonica

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 20.07 | 27.76 |
| rmd | 7.66 | 14.63 |
| iso | 54.94 | 85.19 |
| edt | 76.88 | 248.03 |
| tmmc | 26.60 | 34.90 |
| tmmf | 11.80 | 20.70 |
| rat | 13.30 | 22.40 |
| tmth | 21.27 | 27.78 |
| tmts | 19.53 | 27.52 |
| tmtc | 21.98 | 28.87 |
| tmtf | 17.48 | 26.65 |
| pa | 979.00 | 3565.00 |
| pmh | 199.00 | 649.00 |
| pms | 1.00 | 80.00 |
| edp | 54.48 | 98.29 |
| ptmh | 525.00 | 1800.00 |
| ptms | 11.00 | 256.00 |
| ptmc | 290.00 | 791.00 |
| ptmf | 13.00 | 483.00 |

Yucca madrensis

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 13.13 | 20.55 |
| rmd | 14.31 | 20.77 |
| iso | 44.71 | 61.08 |
| edt | 446.13 | 697.98 |
| tmmc | 27.80 | 36.10 |
| tmmf | -4.80 | 4.70 |
| rat | 29.10 | 38.20 |
| tmth | 18.27 | 26.38 |
| tmts | 10.37 | 20.88 |
| tmtc | 18.70 | 26.97 |
| tmtf | 5.27 | 14.20 |
| pa | 389.00 | 1073.00 |
| pmh | 91.00 | 276.00 |
| pms | 3.00 | 15.00 |
| edp | 58.65 | 111.16 |
| ptmh | 224.00 | 647.00 |
| ptms | 15.00 | 53.00 |
| ptmc | 191.00 | 625.00 |
| ptmf | 22.00 | 178.00 |

Yucca mixtecana

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 15.09 | 22.00 |
| rmd | 12.26 | 16.47 |
| iso | 68.48 | 74.73 |
| edt | 151.72 | 236.40 |
| tmmc | 23.70 | 33.40 |
| tmmf | 5.50 | 10.40 |
| rat | 17.30 | 23.20 |
| tmth | 15.75 | 23.48 |
| tmts | 13.20 | 20.23 |
| tmtc | 16.97 | 24.78 |
| tmtf | 13.10 | 18.88 |
| pa | 507.00 | 832.00 |
| pmh | 116.00 | 165.00 |
| pms | 3.00 | 9.00 |
| edp | 85.50 | 98.25 |
| ptmh | 254.00 | 453.00 |
| ptms | 12.00 | 34.00 |
| ptmc | 188.00 | 246.00 |
| ptmf | 12.00 | 38.00 |

Yucca periculosa

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 12.78 | 25.33 |
| rmd | 10.45 | 17.34 |
| iso | 59.04 | 77.01 |
| edt | 153.65 | 233.41 |
| tmmc | 21.50 | 34.10 |
| tmmf | 1.40 | 16.20 |
| rat | 16.50 | 22.90 |
| tmth | 13.83 | 27.12 |
| tmts | 10.68 | 24.78 |
| tmtc | 14.53 | 27.85 |
| tmtf | 10.68 | 22.10 |
| pa | 417.00 | 3020.00 |
| pmh | 82.00 | 631.00 |
| pms | 3.00 | 63.00 |
| edp | 74.09 | 101.83 |
| ptmh | 194.00 | 1595.00 |
| ptms | 13.00 | 190.00 |
| ptmc | 164.00 | 700.00 |
| ptmf | 14.00 | 238.00 |

Yucca schidigera

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 7.88 | 22.79 |
| rmd | 9.20 | 19.32 |
| iso | 33.18 | 56.87 |
| edt | 284.91 | 927.75 |
| tmmc | 24.00 | 42.60 |
| tmmf | -9.10 | 7.80 |
| rat | 18.00 | 41.40 |
| tmth | 0.30 | 30.38 |
| tmts | 9.60 | 26.58 |
| tmtc | 16.68 | 33.90 |
| tmtf | -0.33 | 13.72 |
| pa | 118.00 | 517.00 |
| pmh | 17.00 | 95.00 |
| pms | 0.00 | 9.00 |
| edp | 35.51 | 90.01 |
| ptmh | 46.00 | 274.00 |
| ptms | 4.00 | 49.00 |
| ptmc | 11.00 | 113.00 |
| ptmf | 38.00 | 249.00 |

Yucca schottii

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 8.68 | 21.95 |
| rmd | 12.05 | 20.59 |
| iso | 42.58 | 59.71 |
| edt | 429.74 | 701.95 |
| tmmc | 22.60 | 40.00 |
| tmmf | -6.40 | 6.40 |
| rat | 27.70 | 37.50 |
| tmth | 16.15 | 29.05 |
| tmts | 10.33 | 21.90 |
| tmtc | 16.18 | 29.78 |
| tmtf | 1.75 | 15.50 |
| pa | 340.00 | 1088.00 |
| pmh | 84.00 | 268.00 |
| pms | 3.00 | 16.00 |
| edp | 58.49 | 119.50 |
| ptmh | 214.00 | 644.00 |
| ptms | 15.00 | 60.00 |
| ptmc | 177.00 | 616.00 |
| ptmf | 23.00 | 218.00 |

Yucca treculeana

| Parámetros | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| tma | 12.84 | 24.55 |
| rmd | 11.40 | 20.18 |
| iso | 41.86 | 65.04 |
| edt | 279.42 | 789.64 |
| tmmc | 23.90 | 38.00 |
| tmmf | -3.80 | 12.20 |
| rat | 21.80 | 38.70 |
| tmth | 15.27 | 28.58 |
| tmts | 9.62 | 20.72 |
| tmtc | 15.83 | 29.50 |
| tmtf | 6.45 | 19.13 |
| pa | 187.00 | 1398.00 |
| pmh | 33.00 | 280.00 |
| pms | 2.00 | 29.00 |
| edp | 42.46 | 116.56 |
| ptmh | 81.00 | 779.00 |
| ptms | 13.00 | 103.00 |
| tmc | 81.00 | 648.00 |
| ptmf | 19.00 | 105.00 |

ANEXO II. COMPONENTES PRINCIPALES POR ESPECIE Y GRÁFICAS DE INFLUENCIA

| <i>Yucca arizonica</i> | | | |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | -0.308 | 0.129 | -0.272 |
| Var02 | 0.001 | 0.348 | 0.202 |
| Var03 | 0.079 | 0.377 | 0.120 |
| Var04 | -0.183 | -0.288 | 0.052 |
| Var05 | -0.308 | 0.160 | -0.104 |
| Var06 | -0.242 | 0.055 | -0.408 |
| Var07 | -0.143 | 0.143 | 0.267 |
| Var08 | -0.067 | 0.123 | 0.024 |
| Var09 | -0.340 | -0.047 | -0.098 |
| Var10 | -0.339 | 0.023 | -0.209 |
| Var11 | -0.248 | 0.219 | -0.299 |
| Var12 | 0.267 | -0.004 | -0.387 |
| Var13 | 0.237 | 0.269 | -0.212 |
| Var14 | 0.237 | -0.263 | -0.018 |
| Var15 | 0.115 | 0.373 | 0.027 |
| Var16 | 0.262 | 0.243 | -0.205 |
| Var17 | 0.254 | -0.198 | -0.227 |
| Var18 | 0.235 | 0.272 | -0.208 |
| Var19 | 0.100 | -0.264 | -0.378 |
| Proporción | 0.381 | 0.330 | 0.141 |
| Acumulada | 0.381 | 0.710 | 0.851 |

| <i>Yucca baccata</i> | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.304 | -0.215 | -0.059 |
| Var02 | 0.162 | 0.076 | 0.589 |
| Var03 | 0.247 | 0.174 | 0.365 |
| Var04 | -0.229 | -0.261 | 0.140 |
| Var05 | 0.278 | -0.235 | 0.145 |
| Var06 | 0.306 | -0.151 | -0.259 |
| Var07 | -0.056 | -0.120 | 0.624 |
| Var08 | 0.051 | -0.040 | 0.068 |
| Var09 | 0.241 | -0.249 | -0.036 |
| Var10 | 0.256 | -0.275 | -0.028 |
| Var11 | 0.336 | -0.144 | -0.090 |
| Var12 | 0.188 | 0.309 | -0.026 |
| Var13 | 0.243 | 0.288 | -0.018 |
| Var14 | -0.188 | 0.280 | -0.023 |
| Var15 | 0.268 | 0.082 | 0.015 |
| Var16 | 0.239 | 0.297 | -0.015 |
| Var17 | -0.128 | 0.313 | 0.001 |
| Var18 | 0.209 | 0.314 | -0.029 |
| Var19 | 0.189 | 0.220 | -0.046 |
| Proporción | 0.392 | 0.316 | 0.114 |
| Acumulada | 0.392 | 0.707 | 0.821 |

| <i>Yucca carnerosana</i> | | | |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | -0.212 | -0.067 | -0.429 |
| Var02 | -0.104 | 0.215 | 0.108 |
| Var03 | 0.290 | -0.017 | -0.060 |
| Var04 | -0.318 | 0.088 | 0.115 |
| Var05 | -0.331 | 0.082 | -0.139 |
| Var06 | 0.126 | -0.160 | -0.476 |
| Var07 | -0.317 | 0.148 | 0.151 |
| Var08 | -0.321 | 0.008 | -0.192 |
| Var09 | -0.089 | 0.026 | -0.385 |
| Var10 | -0.320 | 0.026 | -0.188 |
| Var11 | 0.082 | -0.119 | -0.496 |
| Var12 | 0.263 | 0.301 | -0.105 |
| Var13 | 0.106 | 0.448 | -0.143 |
| Var14 | 0.260 | -0.129 | 0.008 |
| Var15 | -0.128 | 0.406 | -0.029 |
| Var16 | 0.124 | 0.454 | -0.084 |
| Var17 | 0.263 | -0.115 | -0.012 |
| Var18 | 0.165 | 0.403 | -0.097 |
| Var19 | 0.190 | 0.130 | -0.064 |
| Proporción | 0.401 | 0.209 | 0.171 |
| Acumulada | 0.401 | 0.610 | 0.781 |

| <i>Yucca decipiens</i> | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.355 | -0.000 | 0.156 |
| Var02 | -0.172 | -0.271 | 0.228 |
| Var03 | -0.133 | 0.101 | -0.193 |
| Var04 | -0.000 | -0.266 | 0.322 |
| Var05 | 0.240 | -0.170 | 0.326 |
| Var06 | 0.344 | 0.164 | -0.025 |
| Var07 | -0.111 | -0.303 | 0.311 |
| Var08 | 0.345 | -0.035 | 0.188 |
| Var09 | 0.246 | 0.041 | 0.153 |
| Var10 | 0.323 | -0.060 | 0.250 |
| Var11 | 0.353 | 0.082 | 0.073 |
| Var12 | -0.010 | 0.412 | 0.156 |
| Var13 | -0.097 | 0.344 | 0.278 |
| Var14 | 0.299 | -0.015 | -0.242 |
| Var15 | -0.207 | 0.183 | 0.346 |
| Var16 | -0.121 | 0.346 | 0.267 |
| Var17 | 0.260 | 0.042 | -0.294 |
| Var18 | 0.012 | 0.433 | 0.096 |
| Var19 | 0.068 | 0.234 | -0.078 |
| Proporción | 0.367 | 0.265 | 0.210 |
| Acumulada | 0.367 | 0.632 | 0.843 |

| <i>Yucca faxoniana</i> | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.217 | -0.287 | -0.052 |
| Var02 | 0.176 | 0.197 | 0.134 |
| Var03 | 0.061 | -0.262 | 0.347 |
| Var04 | 0.069 | 0.372 | -0.217 |
| Var05 | 0.297 | 0.115 | -0.152 |
| Var06 | 0.065 | -0.389 | 0.055 |
| Var07 | 0.115 | 0.366 | -0.127 |
| Var08 | 0.297 | 0.005 | -0.256 |
| Var09 | 0.173 | -0.304 | 0.134 |
| Var10 | 0.298 | 0.027 | -0.246 |
| Var11 | 0.112 | -0.368 | 0.075 |
| Var12 | -0.322 | -0.055 | -0.069 |
| Var13 | -0.304 | 0.070 | 0.113 |
| Var14 | -0.272 | -0.078 | -0.307 |
| Var15 | -0.020 | 0.264 | 0.471 |
| Var16 | -0.309 | 0.087 | 0.193 |
| Var17 | -0.256 | -0.137 | -0.356 |
| Var18 | -0.323 | 0.036 | 0.053 |
| Var19 | -0.230 | -0.183 | -0.346 |
| Proporción | 0.433 | 0.318 | 0.119 |
| Acumulada | 0.433 | 0.751 | 0.870 |

| <i>Yucca filifera</i> | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.314 | 0.092 | 0.165 |
| Var02 | -0.004 | -0.332 | -0.164 |
| Var03 | -0.304 | -0.040 | 0.034 |
| Var04 | 0.308 | -0.074 | -0.108 |
| Var05 | 0.331 | -0.017 | 0.058 |
| Var06 | 0.210 | 0.243 | 0.281 |
| Var07 | 0.232 | -0.241 | -0.177 |
| Var08 | 0.331 | 0.036 | 0.093 |
| Var09 | 0.296 | 0.111 | 0.149 |
| Var10 | 0.328 | 0.058 | 0.109 |
| Var11 | 0.238 | 0.182 | 0.276 |
| Var12 | -0.105 | 0.391 | -0.149 |
| Var13 | -0.094 | 0.399 | -0.087 |
| Var14 | 0.121 | 0.181 | -0.423 |
| Var15 | -0.158 | 0.298 | 0.225 |
| Var16 | -0.131 | 0.385 | -0.085 |
| Var17 | 0.182 | 0.110 | -0.443 |
| Var18 | 0.028 | 0.333 | -0.173 |
| Var19 | 0.186 | 0.047 | -0.455 |
| Proporción | 0.453 | 0.275 | 0.161 |
| Acumulada | 0.453 | 0.729 | 0.889 |

| <i>Yucca gloriosa</i> | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | -0.199 | -0.392 | 0.149 |
| Var02 | 0.270 | -0.003 | 0.198 |
| Var03 | 0.221 | -0.106 | 0.247 |
| Var04 | 0.252 | 0.301 | -0.083 |
| Var05 | 0.215 | -0.030 | 0.286 |
| Var06 | -0.294 | -0.178 | -0.044 |
| Var07 | 0.287 | 0.119 | 0.131 |
| Var08 | -0.264 | 0.209 | 0.047 |
| Var09 | 0.272 | -0.156 | -0.128 |
| Var10 | -0.127 | -0.414 | 0.224 |
| Var11 | -0.226 | -0.360 | 0.117 |
| Var12 | 0.125 | -0.281 | -0.398 |
| Var13 | -0.155 | 0.095 | -0.373 |
| Var14 | 0.218 | -0.061 | -0.275 |
| Var15 | -0.253 | 0.267 | -0.017 |
| Var16 | -0.164 | 0.115 | -0.388 |
| Var17 | 0.141 | -0.320 | -0.354 |
| Var18 | -0.288 | -0.024 | -0.057 |
| Var19 | 0.262 | -0.224 | -0.189 |
| Proporción | 0.530 | 0.176 | 0.166 |
| Acumulada | 0.530 | 0.706 | 0.872 |

| <i>Yucca grandiflora</i> | | | |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.274 | -0.137 | -0.219 |
| Var02 | 0.236 | -0.070 | 0.470 |
| Var03 | 0.060 | -0.340 | 0.453 |
| Var04 | 0.126 | 0.360 | -0.098 |
| Var05 | 0.295 | -0.059 | -0.116 |
| Var06 | 0.212 | -0.243 | -0.332 |
| Var07 | 0.245 | 0.195 | 0.207 |
| Var08 | 0.291 | -0.058 | -0.193 |
| Var09 | 0.285 | -0.081 | -0.143 |
| Var10 | 0.290 | -0.051 | -0.214 |
| Var11 | 0.245 | -0.224 | -0.179 |
| Var12 | -0.230 | -0.271 | -0.049 |
| Var13 | -0.158 | -0.352 | -0.036 |
| Var14 | -0.179 | -0.072 | -0.379 |
| Var15 | 0.180 | -0.311 | 0.162 |
| Var16 | -0.147 | -0.367 | 0.024 |
| Var17 | -0.289 | 0.086 | -0.124 |
| Var18 | -0.156 | -0.357 | -0.018 |
| Var19 | -0.275 | -0.002 | -0.152 |
| Proporción | 0.575 | 0.294 | 0.074 |
| Acumulada | 0.575 | 0.869 | 0.943 |

| <i>Yucca guatemalensis</i> | | | |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.291 | -0.243 | 0.035 |
| Var02 | -0.209 | -0.038 | 0.406 |
| Var03 | -0.259 | -0.118 | -0.221 |
| Var04 | 0.130 | 0.104 | 0.514 |
| Var05 | 0.262 | -0.235 | 0.225 |
| Var06 | 0.273 | -0.234 | -0.200 |
| Var07 | -0.056 | 0.033 | 0.584 |
| Var08 | 0.297 | -0.214 | 0.128 |
| Var09 | 0.255 | -0.282 | -0.073 |
| Var10 | 0.296 | -0.223 | 0.114 |
| Var11 | 0.264 | -0.276 | -0.086 |
| Var12 | 0.233 | 0.279 | -0.087 |
| Var13 | 0.215 | 0.216 | 0.005 |
| Var14 | 0.190 | 0.303 | 0.006 |
| Var15 | -0.164 | -0.258 | 0.133 |
| Var16 | 0.201 | 0.198 | -0.031 |
| Var17 | 0.208 | 0.306 | -0.010 |
| Var18 | 0.181 | 0.277 | 0.104 |
| Var19 | 0.224 | 0.247 | -0.099 |
| Proporción | 0.410 | 0.295 | 0.145 |
| Acumulada | 0.410 | 0.705 | 0.850 |

| <i>Yucca jaliscensis</i> | | | |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.301 | -0.170 | 0.158 |
| Var02 | 0.299 | 0.093 | -0.158 |
| Var03 | 0.038 | 0.084 | 0.294 |
| Var04 | 0.202 | 0.032 | -0.505 |
| Var05 | 0.331 | -0.081 | 0.001 |
| Var06 | 0.057 | -0.302 | 0.387 |
| Var07 | 0.296 | 0.083 | -0.207 |
| Var08 | 0.311 | -0.162 | 0.064 |
| Var09 | 0.312 | -0.142 | 0.140 |
| Var10 | 0.313 | -0.154 | 0.096 |
| Var11 | 0.274 | -0.190 | 0.246 |
| Var12 | -0.195 | -0.321 | 0.054 |
| Var13 | -0.206 | -0.322 | -0.041 |
| Var14 | -0.016 | 0.326 | 0.344 |
| Var15 | -0.043 | -0.347 | -0.302 |
| Var16 | -0.188 | -0.338 | -0.027 |
| Var17 | -0.177 | 0.303 | 0.180 |
| Var18 | -0.223 | -0.283 | -0.080 |
| Var19 | -0.105 | -0.157 | 0.263 |
| Proporción | 0.449 | 0.300 | 0.118 |
| Acumulada | 0.449 | 0.749 | 0.867 |

| <i>Yucca lacandonica</i> | | | |
|--------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.287 | -0.219 | 0.132 |
| Var02 | 0.094 | -0.255 | -0.379 |
| Var03 | 0.280 | -0.004 | -0.287 |
| Var04 | -0.253 | -0.145 | 0.056 |
| Var05 | 0.204 | -0.317 | -0.003 |
| Var06 | 0.314 | -0.035 | 0.221 |
| Var07 | -0.086 | -0.302 | -0.216 |
| Var08 | 0.265 | -0.240 | 0.143 |
| Var09 | 0.269 | -0.201 | 0.222 |
| Var10 | 0.249 | -0.266 | 0.131 |
| Var11 | 0.318 | -0.156 | 0.098 |
| Var12 | -0.205 | -0.298 | -0.053 |
| Var13 | -0.119 | -0.322 | -0.203 |
| Var14 | -0.190 | -0.303 | 0.128 |
| Var15 | 0.196 | 0.031 | -0.502 |
| Var16 | -0.167 | -0.297 | -0.206 |
| Var17 | -0.230 | -0.265 | 0.212 |
| Var18 | -0.191 | -0.137 | -0.188 |
| Var19 | -0.254 | -0.134 | 0.356 |
| Proporción | 0.417 | 0.326 | 0.121 |
| Acumulada | 0.417 | 0.743 | 0.864 |

| <i>Yucca madrensis</i> | | | |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.102 | -0.388 | -0.005 |
| Var02 | 0.099 | 0.081 | -0.295 |
| Var03 | 0.296 | 0.031 | -0.238 |
| Var04 | -0.322 | 0.020 | 0.159 |
| Var05 | -0.021 | -0.384 | -0.019 |
| Var06 | 0.195 | -0.321 | -0.009 |
| Var07 | -0.270 | 0.047 | -0.007 |
| Var08 | -0.072 | -0.383 | 0.146 |
| Var09 | -0.063 | -0.254 | 0.360 |
| Var10 | -0.066 | -0.390 | 0.096 |
| Var11 | 0.196 | -0.331 | -0.035 |
| Var12 | 0.333 | 0.020 | 0.144 |
| Var13 | 0.337 | -0.004 | 0.050 |
| Var14 | 0.219 | 0.265 | 0.207 |
| Var15 | 0.208 | -0.088 | -0.448 |
| Var16 | 0.342 | -0.007 | 0.010 |
| Var17 | 0.212 | 0.187 | 0.372 |
| Var18 | 0.341 | 0.004 | 0.020 |
| Var19 | 0.177 | 0.045 | 0.514 |
| Proporción | 0.442 | 0.317 | 0.139 |
| Acumulada | 0.442 | 0.760 | 0.899 |

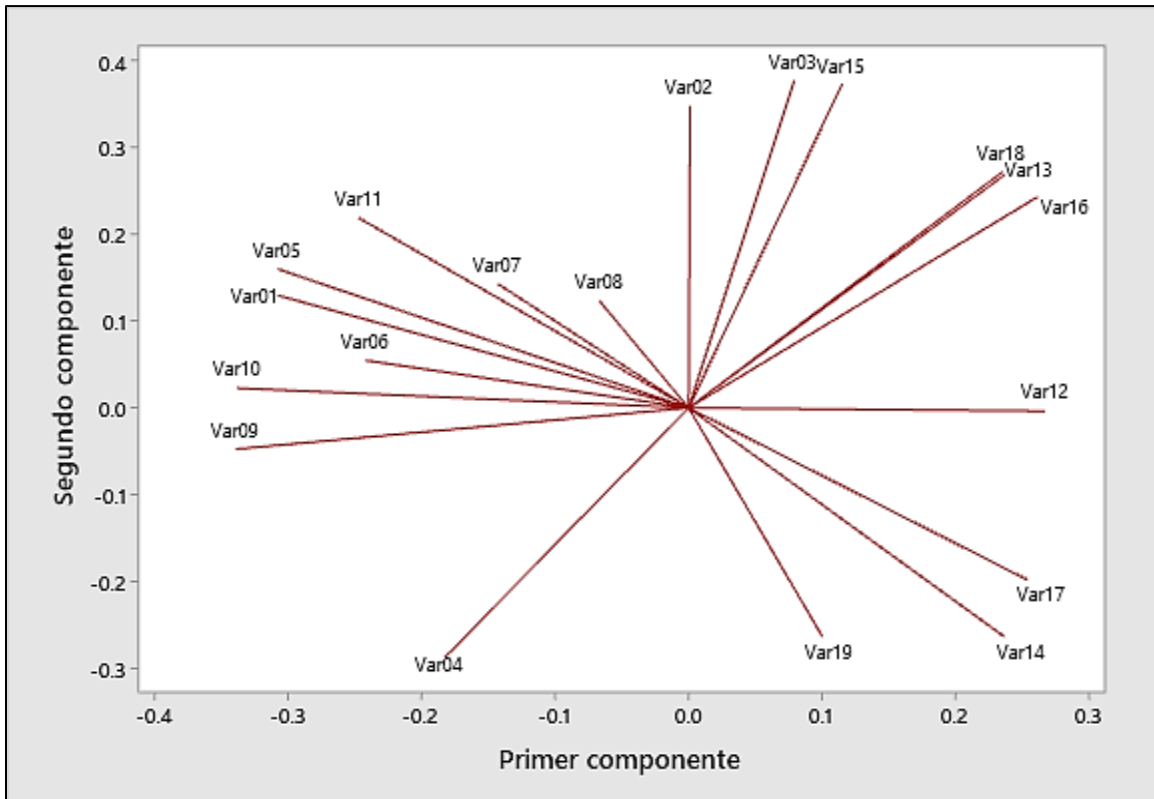
| <i>Yucca mixtecana</i> | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.297 | 0.021 | 0.197 |
| Var02 | 0.202 | 0.105 | -0.357 |
| Var03 | -0.104 | 0.320 | -0.255 |
| Var04 | 0.260 | -0.187 | -0.064 |
| Var05 | 0.309 | 0.005 | 0.070 |
| Var06 | 0.224 | 0.019 | 0.427 |
| Var07 | 0.251 | -0.010 | -0.276 |
| Var08 | 0.303 | 0.003 | 0.160 |
| Var09 | 0.297 | 0.054 | 0.126 |
| Var10 | 0.302 | -0.010 | 0.171 |
| Var11 | 0.282 | 0.065 | 0.246 |
| Var12 | 0.174 | 0.341 | -0.230 |
| Var13 | 0.149 | 0.397 | -0.020 |
| Var14 | 0.226 | -0.217 | -0.192 |
| Var15 | -0.049 | 0.325 | 0.285 |
| Var16 | 0.166 | 0.375 | -0.183 |
| Var17 | 0.242 | -0.211 | -0.219 |
| Var18 | 0.001 | 0.426 | -0.071 |
| Var19 | 0.203 | -0.225 | -0.335 |
| Proporción | 0.534 | 0.222 | 0.116 |
| Acumulada | 0.534 | 0.755 | 0.872 |

| <i>Yucca periculosa</i> | | | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.316 | 0.095 | -0.067 |
| Var02 | -0.009 | -0.378 | 0.169 |
| Var03 | -0.090 | -0.426 | 0.032 |
| Var04 | 0.102 | 0.217 | 0.163 |
| Var05 | 0.312 | 0.036 | -0.028 |
| Var06 | 0.292 | 0.188 | -0.131 |
| Var07 | 0.029 | -0.293 | 0.199 |
| Var08 | 0.312 | 0.085 | -0.075 |
| Var09 | 0.314 | 0.101 | -0.089 |
| Var10 | 0.314 | 0.110 | -0.056 |
| Var11 | 0.317 | 0.083 | -0.088 |
| Var12 | 0.209 | -0.112 | 0.412 |
| Var13 | 0.259 | -0.127 | 0.267 |
| Var14 | -0.095 | 0.315 | 0.368 |
| Var15 | 0.290 | -0.137 | -0.115 |
| Var16 | 0.232 | -0.188 | 0.302 |
| Var17 | -0.101 | 0.332 | 0.369 |
| Var18 | 0.165 | -0.209 | 0.356 |
| Var19 | -0.094 | 0.352 | 0.337 |
| Proporción | 0.488 | 0.208 | 0.149 |
| Acumulada | 0.488 | 0.696 | 0.846 |

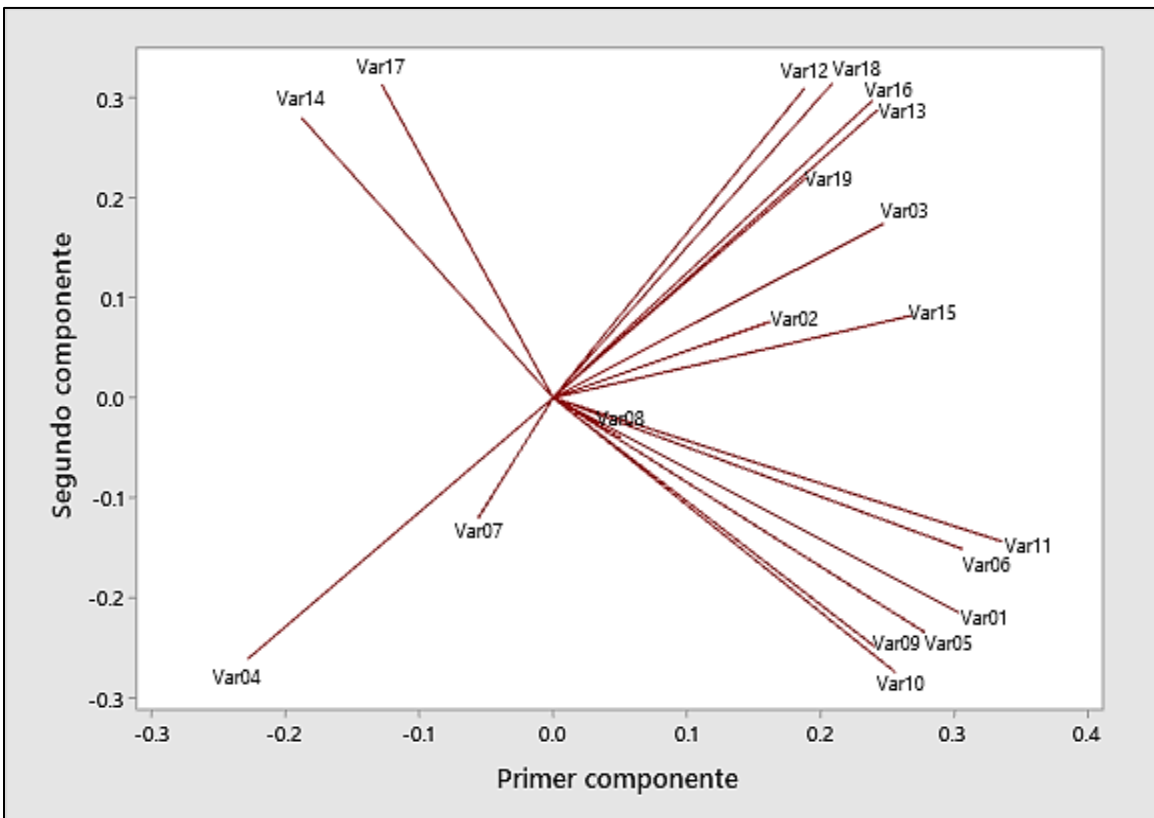
| <i>Yucca schidigera</i> | | | |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | -0.231 | -0.289 | -0.148 |
| Var02 | 0.056 | 0.035 | 0.298 |
| Var03 | 0.279 | -0.134 | 0.277 |
| Var04 | -0.300 | 0.171 | -0.189 |
| Var05 | -0.310 | -0.109 | -0.142 |
| Var06 | 0.005 | -0.379 | -0.110 |
| Var07 | -0.267 | 0.175 | -0.043 |
| Var08 | -0.074 | -0.307 | -0.011 |
| Var09 | -0.198 | -0.273 | -0.236 |
| Var10 | -0.318 | -0.119 | -0.200 |
| Var11 | 0.004 | -0.401 | -0.003 |
| Var12 | 0.288 | 0.084 | -0.355 |
| Var13 | 0.305 | 0.011 | -0.315 |
| Var14 | -0.147 | 0.241 | -0.351 |
| Var15 | 0.267 | -0.247 | -0.078 |
| Var16 | 0.304 | -0.031 | -0.332 |
| Var17 | -0.002 | 0.351 | -0.267 |
| Var18 | 0.051 | 0.293 | 0.162 |
| Var19 | 0.314 | -0.029 | -0.290 |
| Proporción | 0.418 | 0.314 | 0.107 |
| Acumulada | 0.418 | 0.733 | 0.839 |

| <i>Yucca schottii</i> | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.318 | -0.127 | 0.160 |
| Var02 | 0.232 | -0.016 | -0.358 |
| Var03 | 0.195 | -0.212 | -0.358 |
| Var04 | -0.033 | 0.348 | 0.192 |
| Var05 | 0.340 | -0.022 | 0.059 |
| Var06 | 0.224 | -0.227 | 0.247 |
| Var07 | 0.183 | 0.213 | -0.189 |
| Var08 | 0.302 | 0.003 | 0.284 |
| Var09 | 0.221 | -0.009 | 0.411 |
| Var10 | 0.317 | -0.003 | 0.242 |
| Var11 | 0.292 | -0.202 | 0.120 |
| Var12 | -0.152 | -0.351 | 0.088 |
| Var13 | -0.036 | -0.389 | -0.016 |
| Var14 | -0.253 | -0.178 | 0.026 |
| Var15 | 0.244 | -0.142 | -0.324 |
| Var16 | -0.038 | -0.395 | -0.056 |
| Var17 | -0.264 | -0.172 | 0.164 |
| Var18 | -0.025 | -0.393 | -0.065 |
| Var19 | -0.248 | -0.118 | 0.332 |
| Proporción | 0.427 | 0.326 | 0.151 |
| Acumulada | 0.427 | 0.753 | 0.904 |

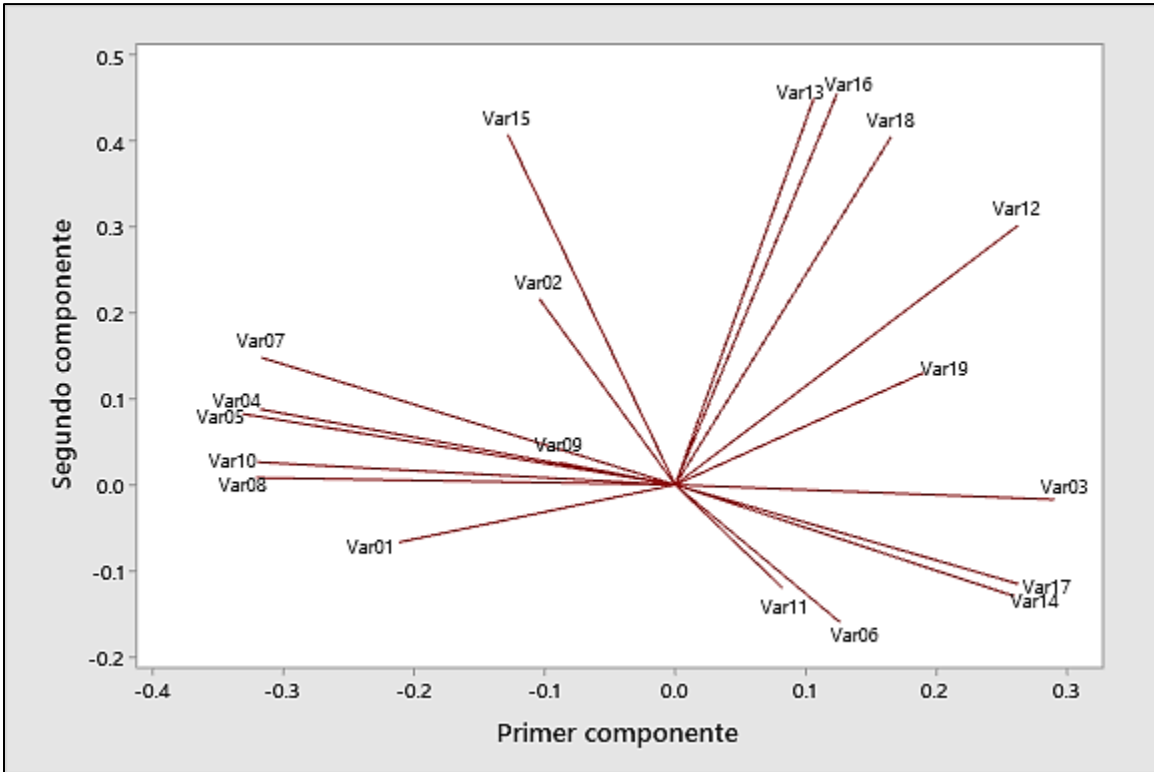
| <i>Yucca treculeana</i> | | | |
|-------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Variable | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
| Var01 | 0.261 | 0.216 | -0.214 |
| Var02 | -0.282 | -0.085 | -0.148 |
| Var03 | 0.004 | -0.412 | -0.211 |
| Var04 | -0.197 | 0.325 | 0.109 |
| Var05 | 0.023 | 0.420 | -0.201 |
| Var06 | 0.304 | 0.030 | -0.143 |
| Var07 | -0.269 | 0.190 | 0.028 |
| Var08 | 0.149 | 0.364 | -0.240 |
| Var09 | 0.200 | 0.021 | -0.371 |
| Var10 | 0.141 | 0.406 | -0.136 |
| Var11 | 0.294 | 0.022 | -0.215 |
| Var12 | 0.296 | -0.101 | 0.071 |
| Var13 | 0.282 | -0.129 | 0.007 |
| Var14 | 0.240 | 0.089 | 0.389 |
| Var15 | 0.025 | -0.257 | -0.255 |
| Var16 | 0.268 | -0.166 | -0.019 |
| Var17 | 0.245 | 0.086 | 0.391 |
| Var18 | 0.274 | -0.144 | -0.026 |
| Var19 | 0.216 | 0.043 | 0.423 |
| Proporción | 0.496 | 0.239 | 0.128 |
| Acumulada | 0.496 | 0.735 | 0.863 |



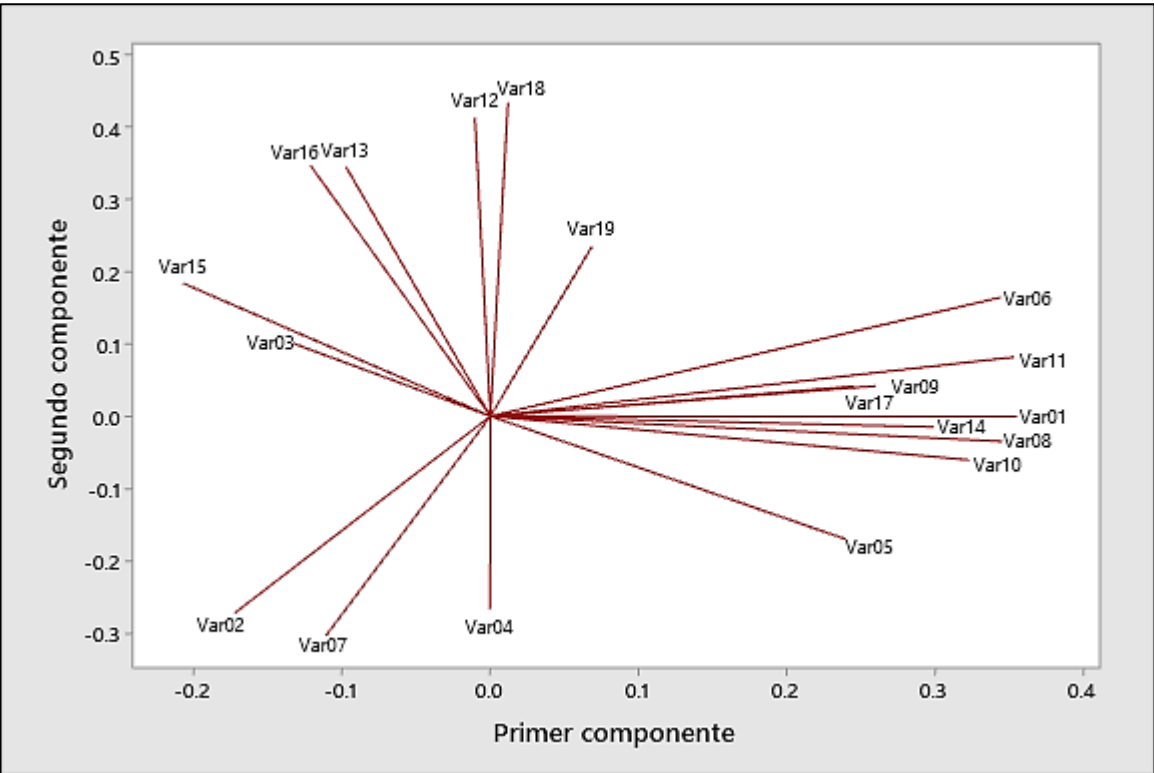
Representación de las influencias de *Yucca arizonica* en los dos primeros componentes.



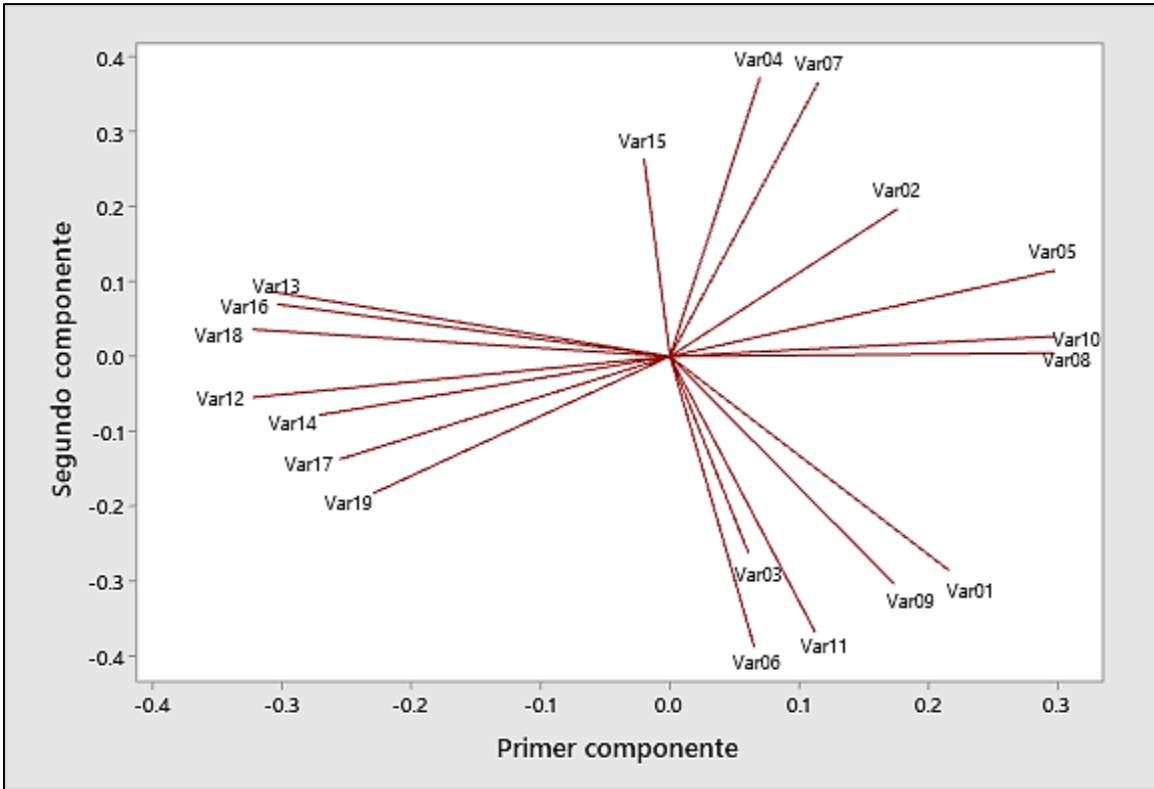
Representación de las influencias de *Yucca baccata* en los dos primeros componentes.



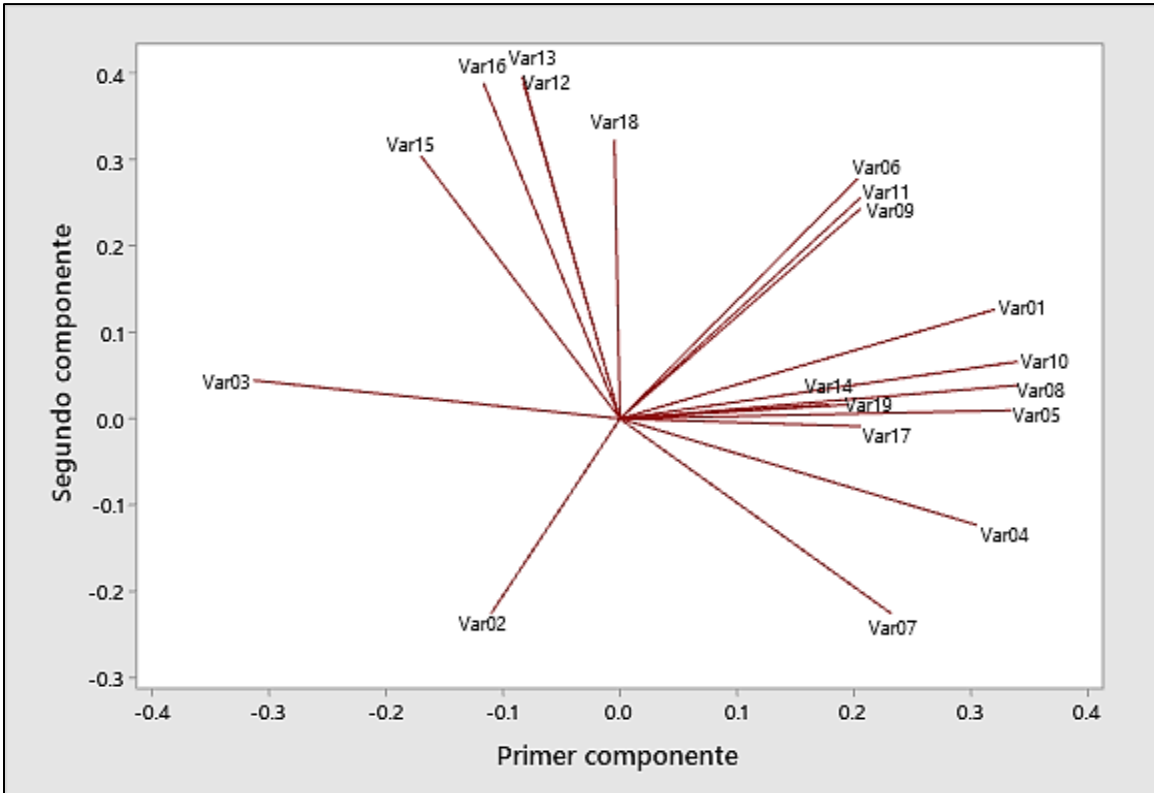
Representación de las influencias de *Yucca carerosana* en los dos primeros componentes.



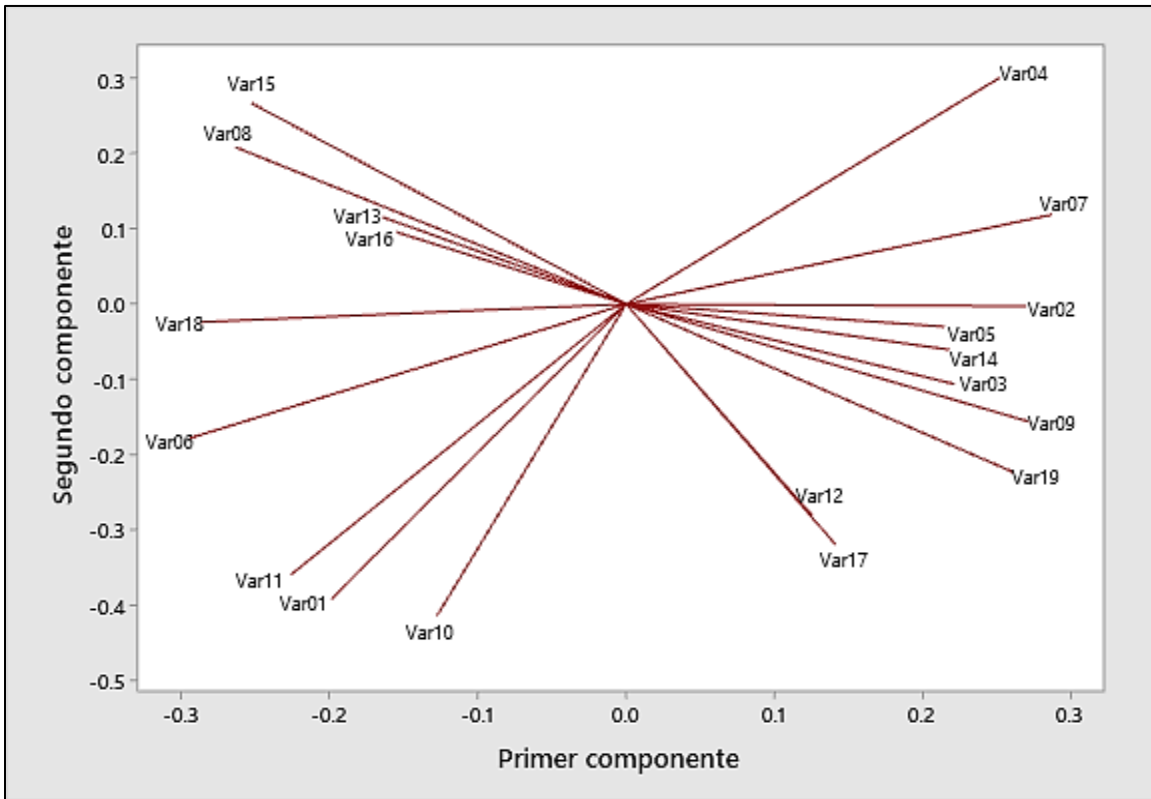
Representación de las influencias de *Yucca decipiens* en los dos primeros componentes.



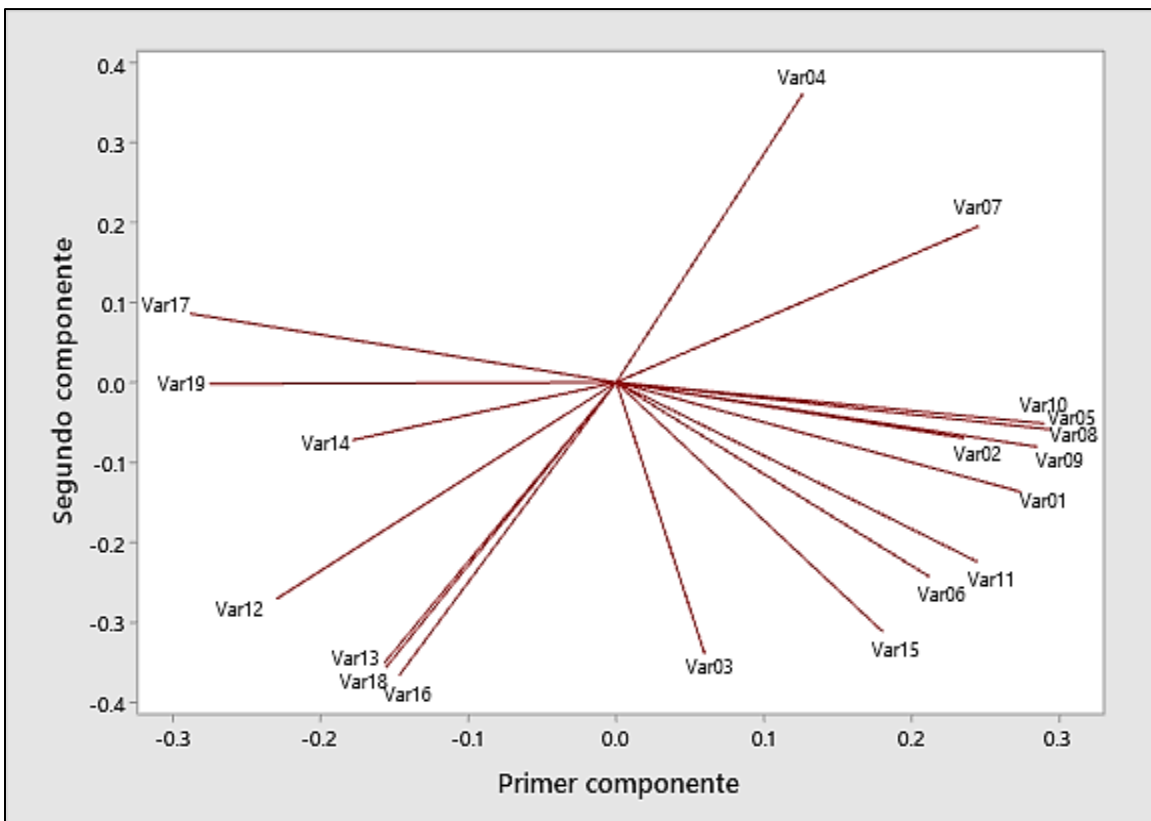
Representación de las influencias de *Yucca faxoniana* en los dos primeros componentes.



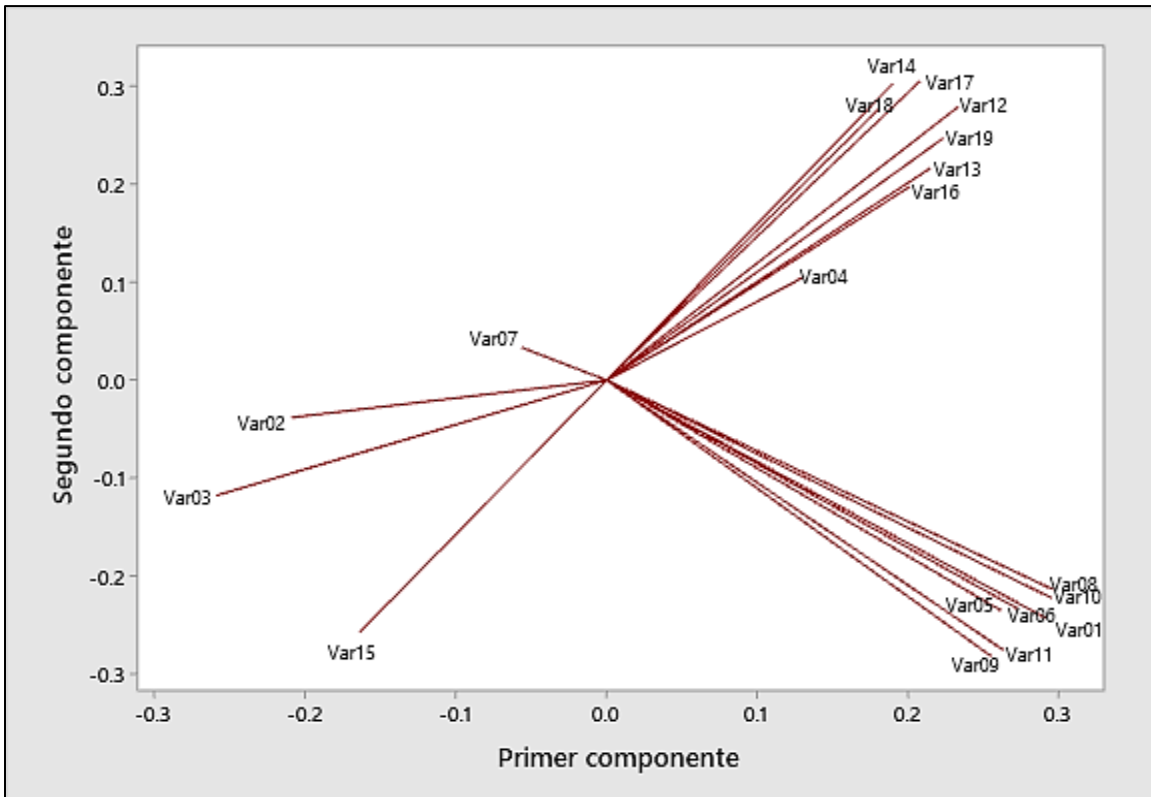
Representación de las influencias de *Yucca filifera* en los dos primeros componentes.



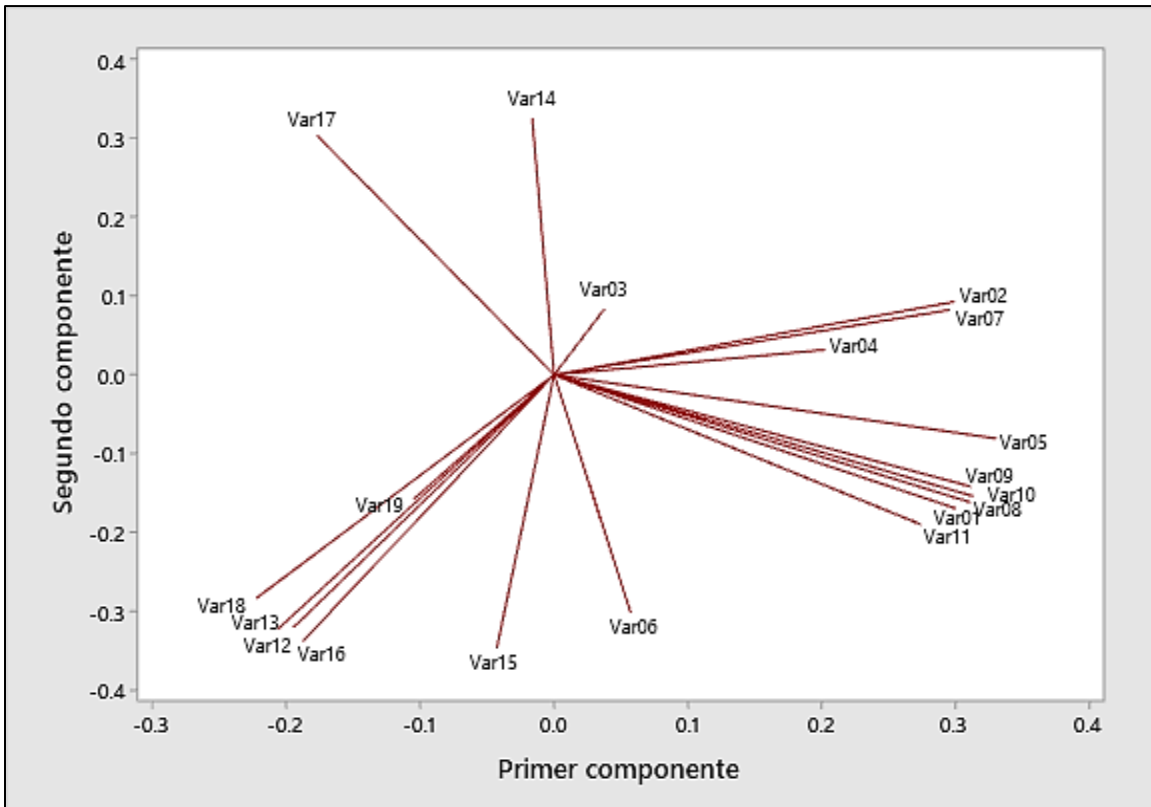
Representación de las influencias de *Yucca gloriosa* en los dos primeros componentes.



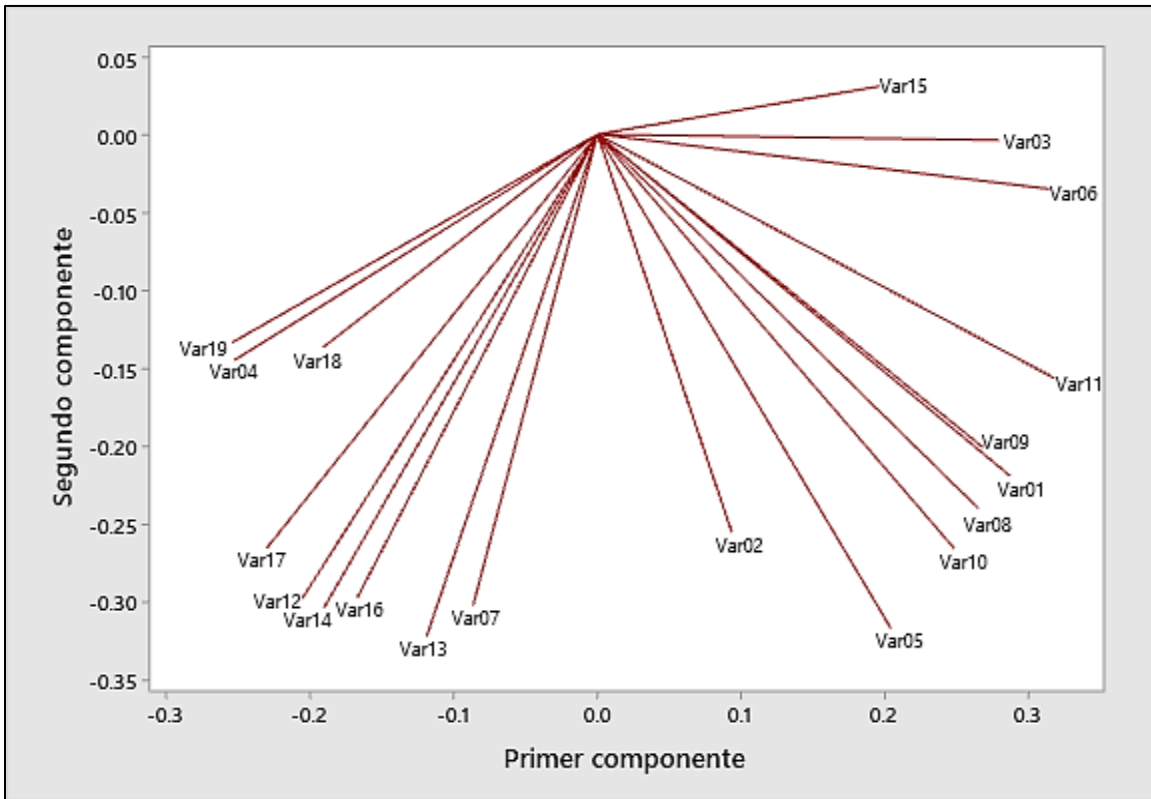
Representación de las influencias de *Yucca grandiflora* en los dos primeros componentes.



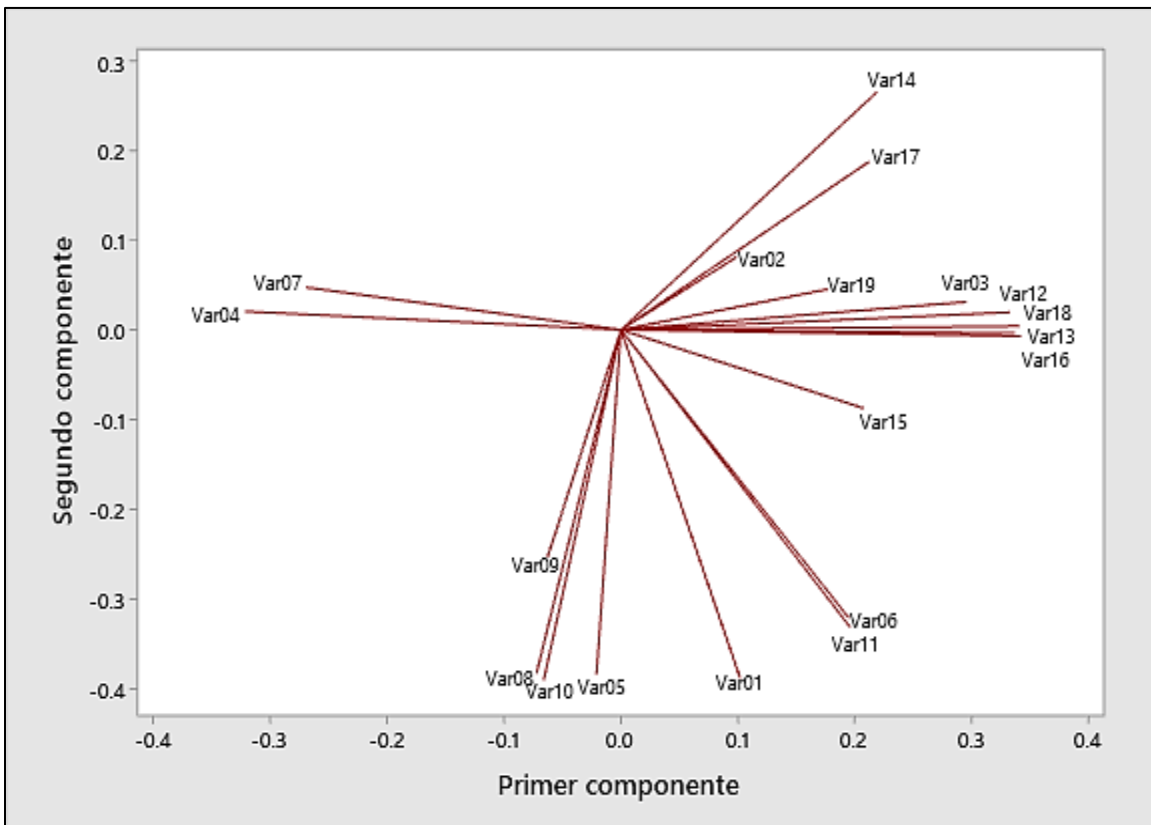
Representación de las influencias de *Yucca guatemalensis* en los dos primeros componentes.



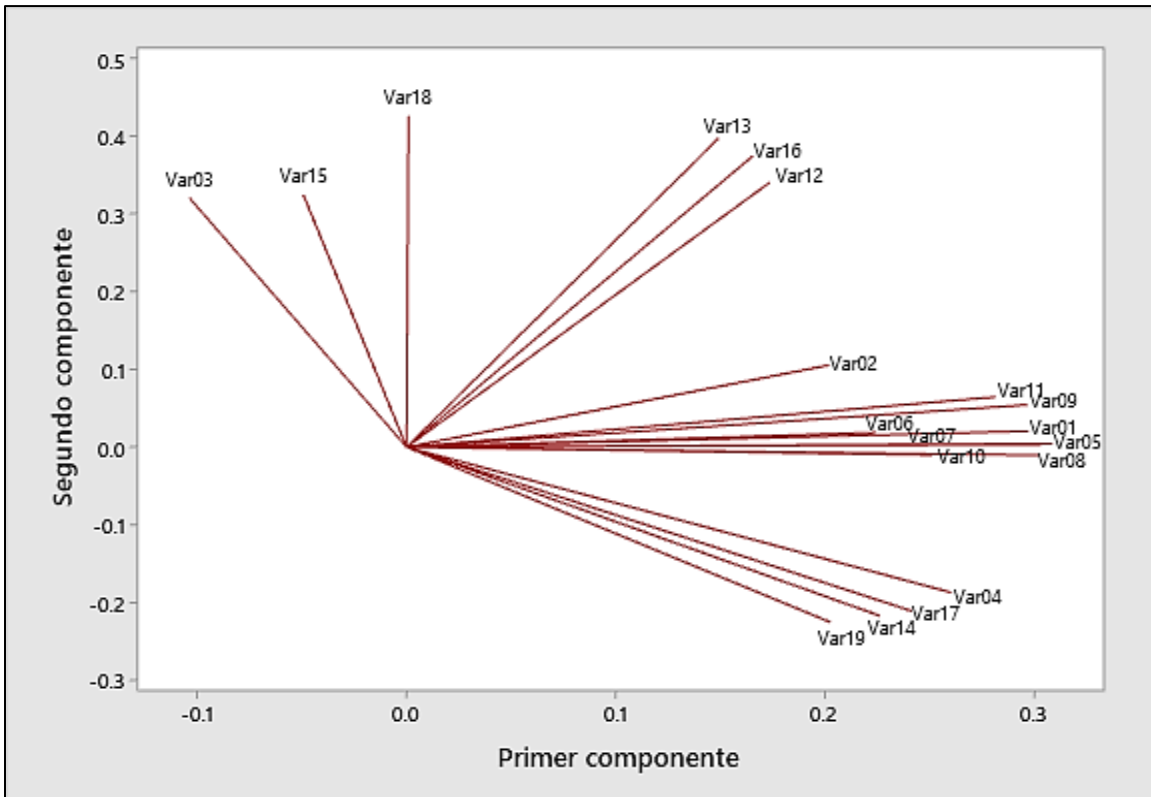
Representación de las influencias de *Yucca jaliscensis* en los dos primeros componentes.



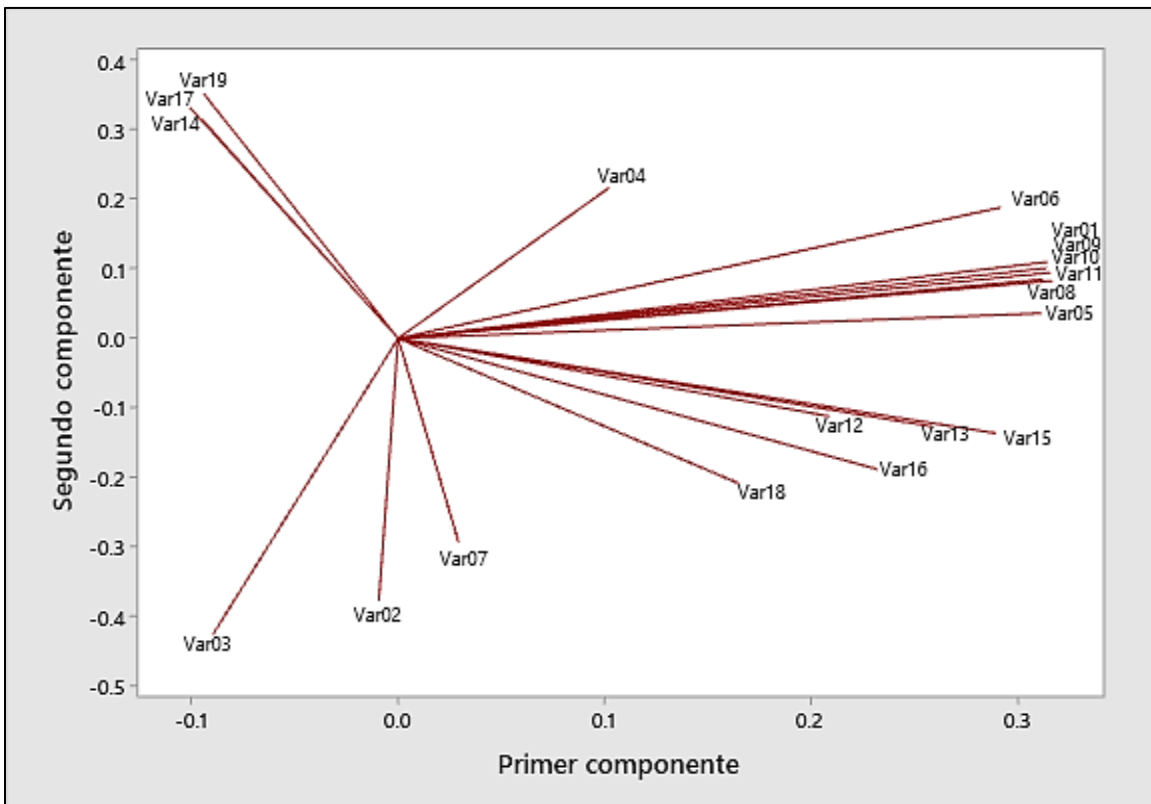
Representación de las influencias de *Yucca lacandonica* en los dos primeros componentes.



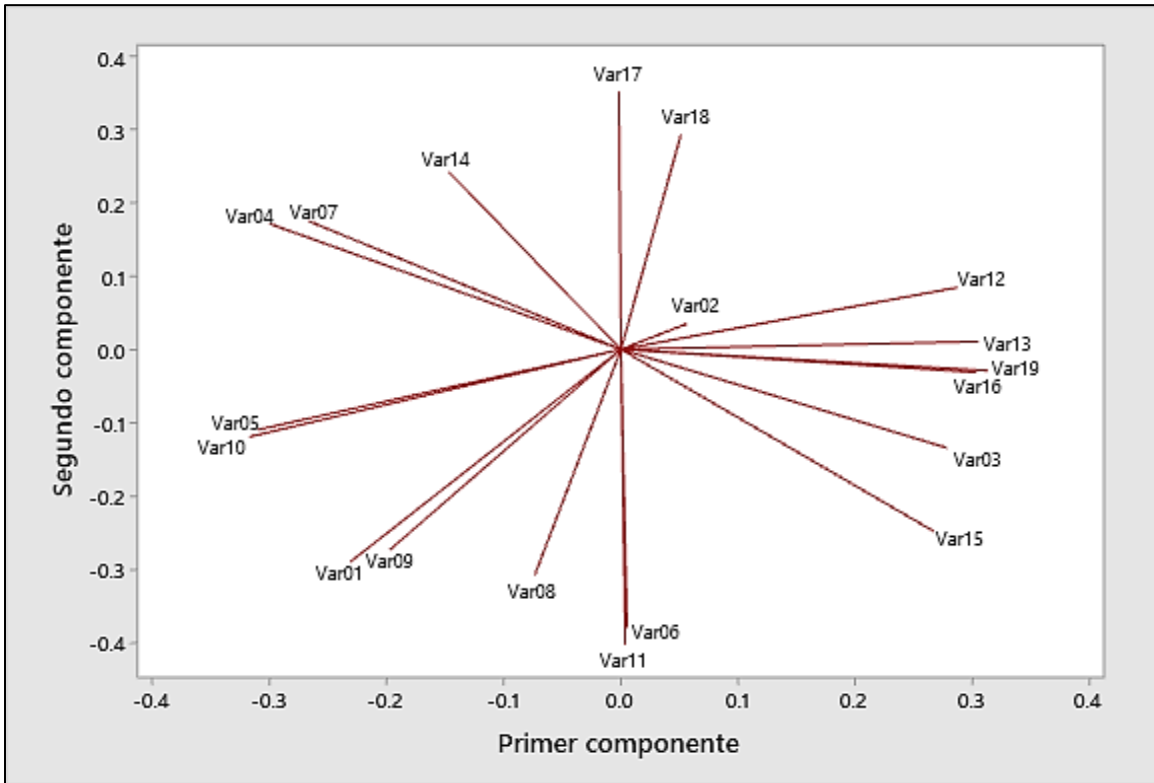
Representación de las influencias de *Yucca madrensis* en los dos primeros componentes.



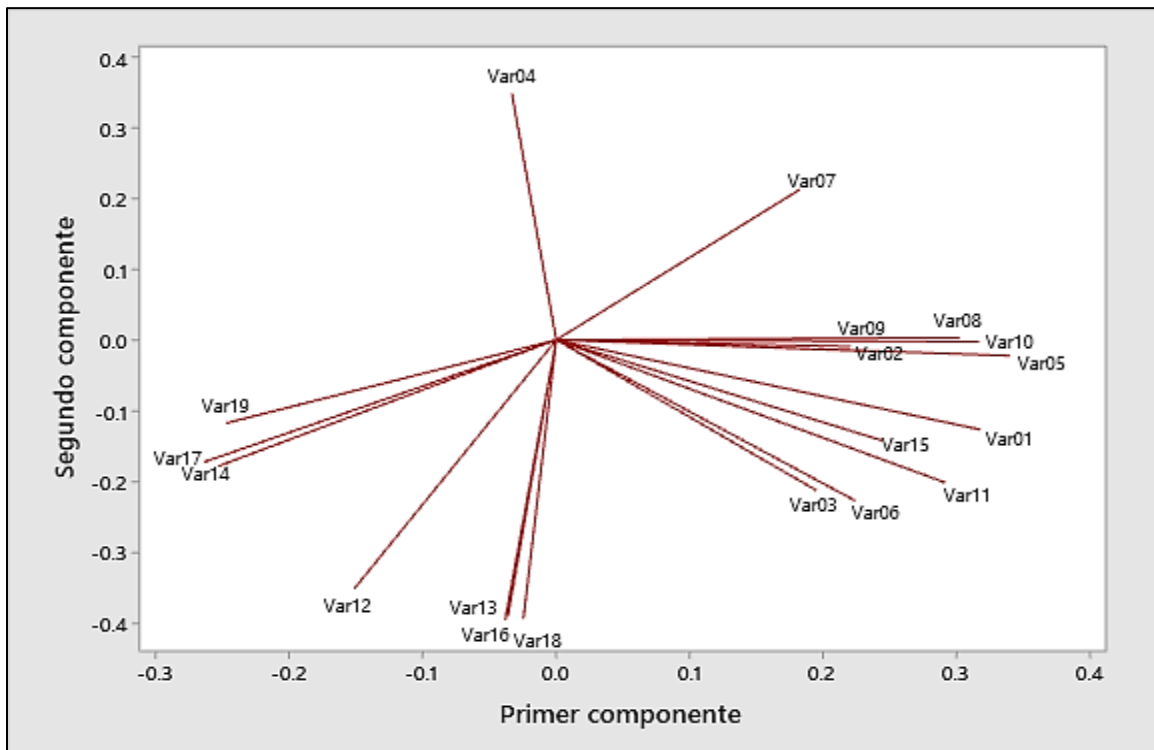
Representación de las influencias de *Yucca mixteca* en los dos primeros componentes.



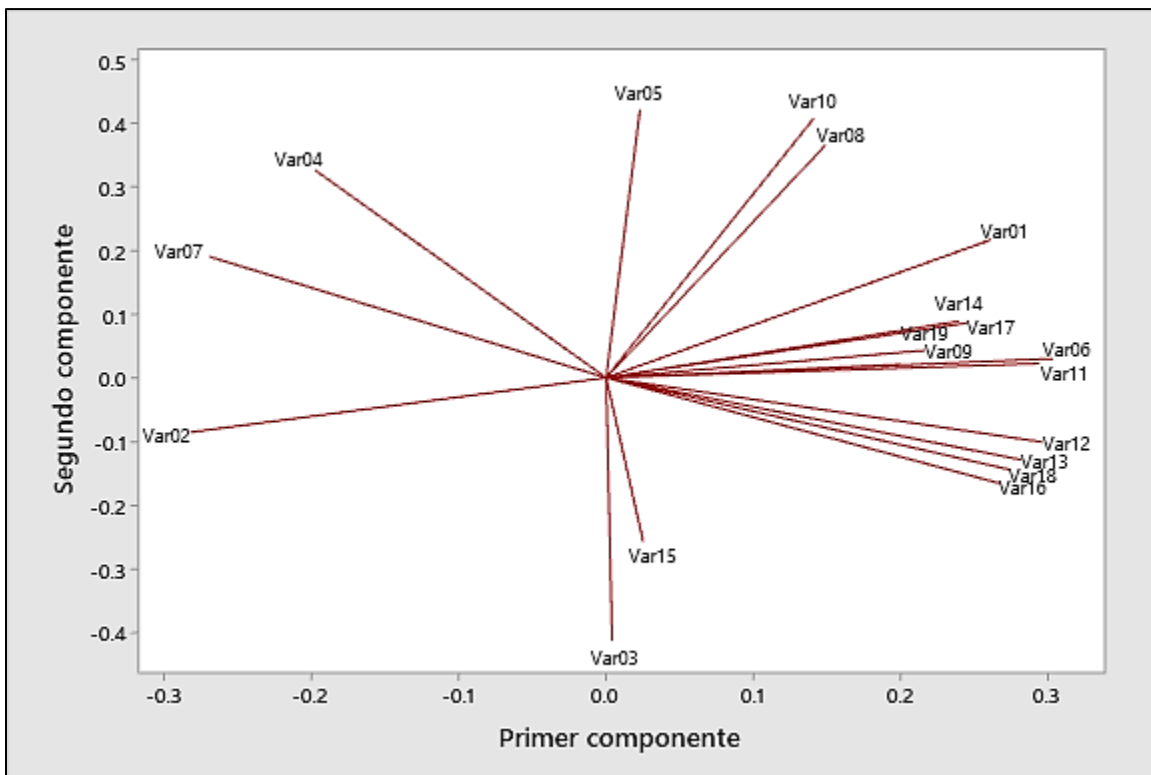
Representación de las influencias de *Yucca periculosa* en los dos primeros componentes.



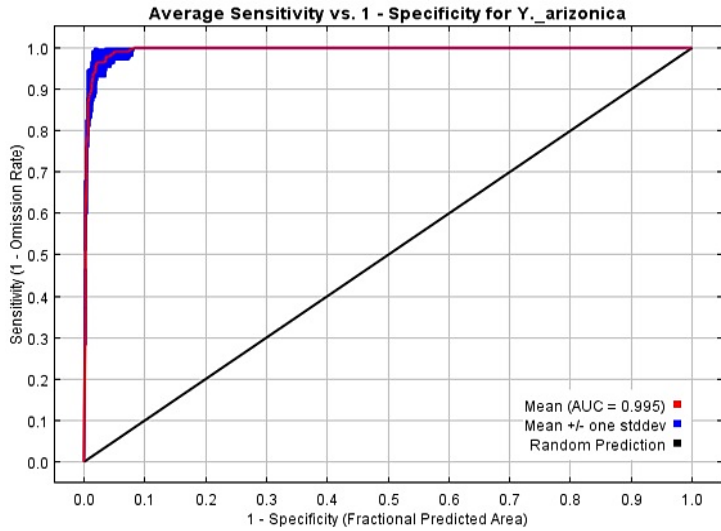
Representación de las influencias de *Yucca schidigera* en los dos primeros componentes.



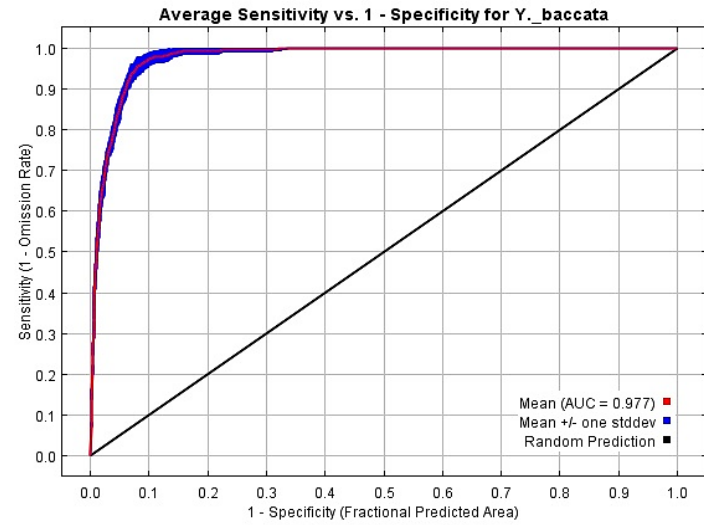
Representación de las influencias de *Yucca schottii* en los dos primeros componentes.



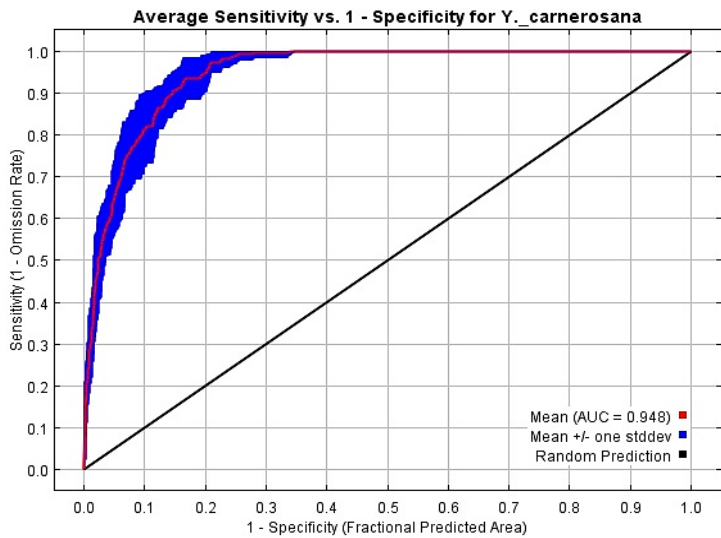
Representación de las influencias de *Yucca treculeana* en los dos primeros componentes.



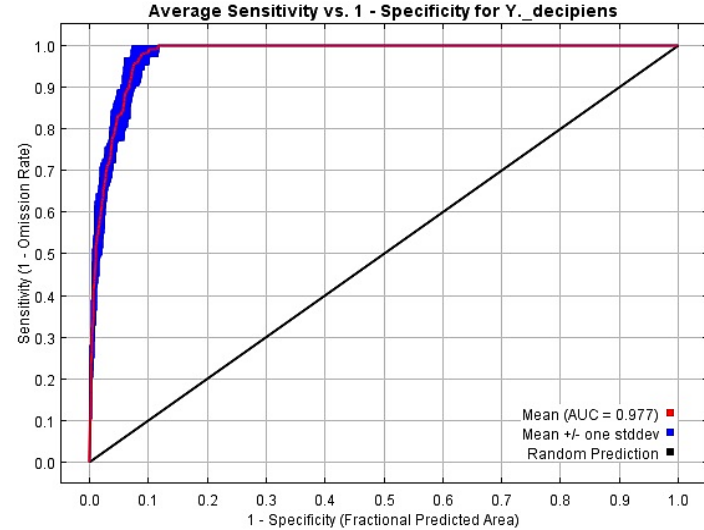
Curvas ROC y AUC de *Yucca arizonica*



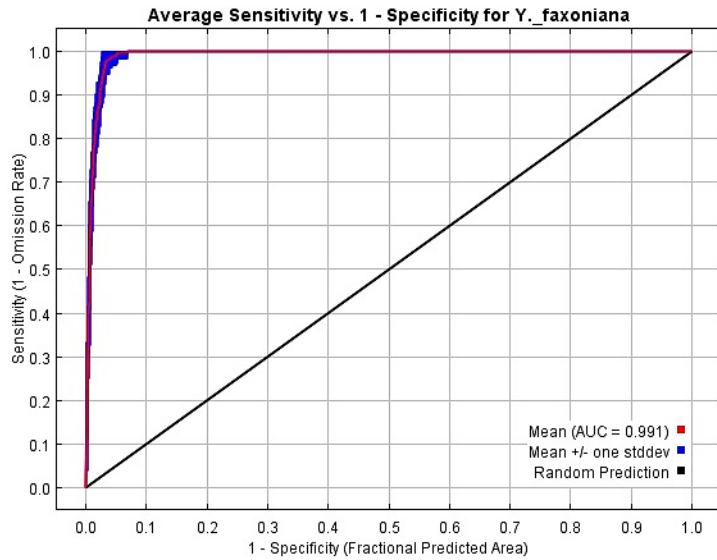
Curva ROC y AUC de *Yucca baccata*



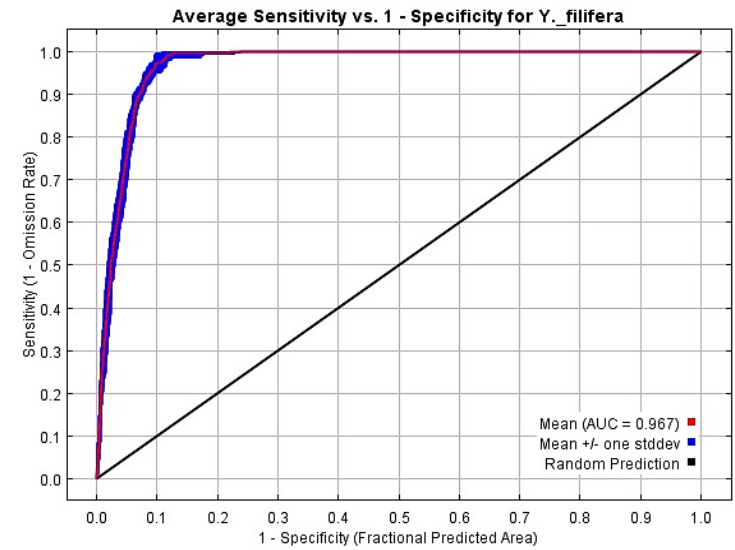
Curvas ROC y AUC de *Yucca carnerosana*



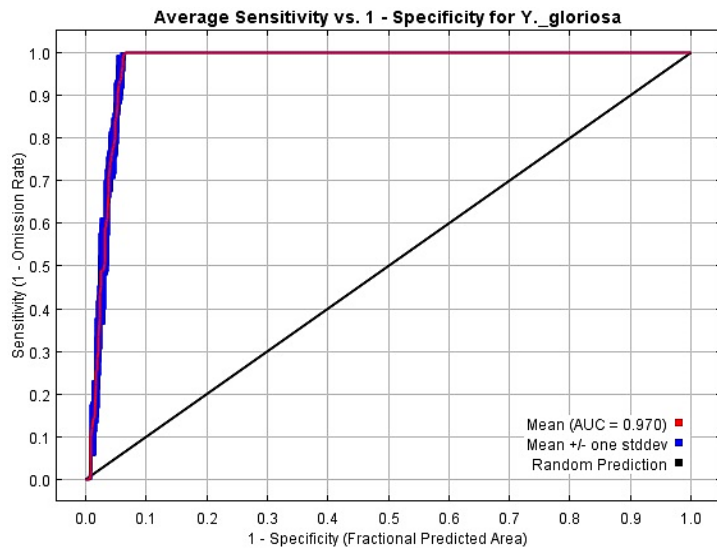
Curvas ROC y AUC de *Yucca decipiens*



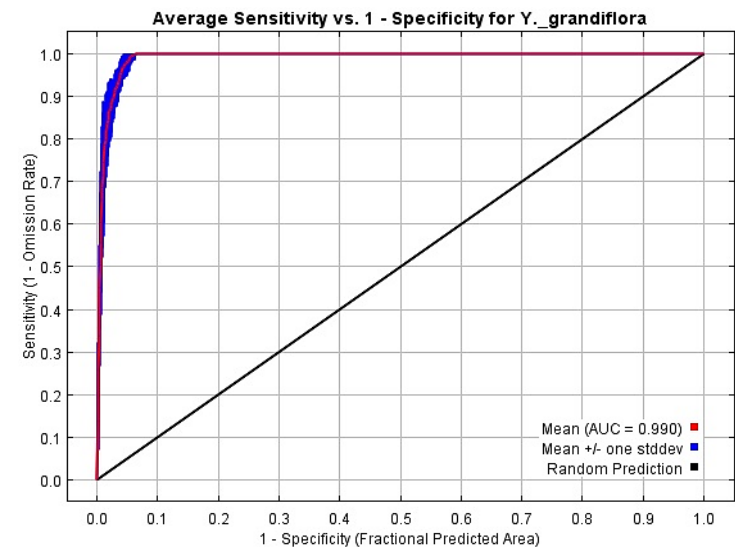
Curva ROC y AUC de *Yucca faxoniana*



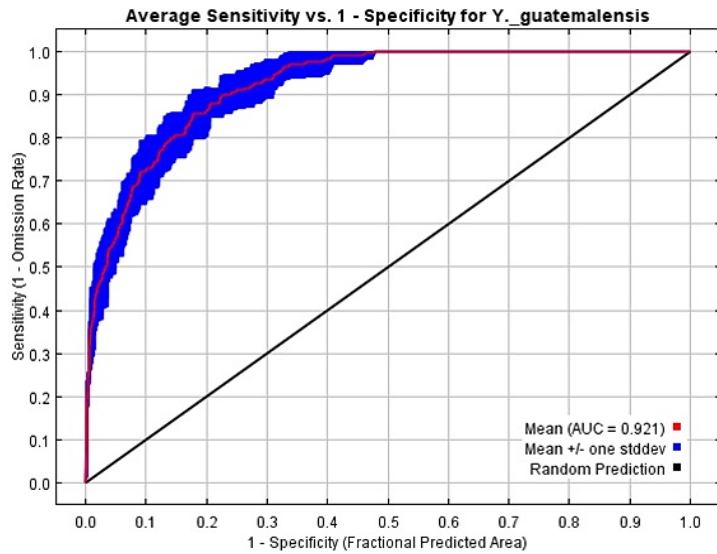
Curva ROC y AUC de *Yucca filifera*



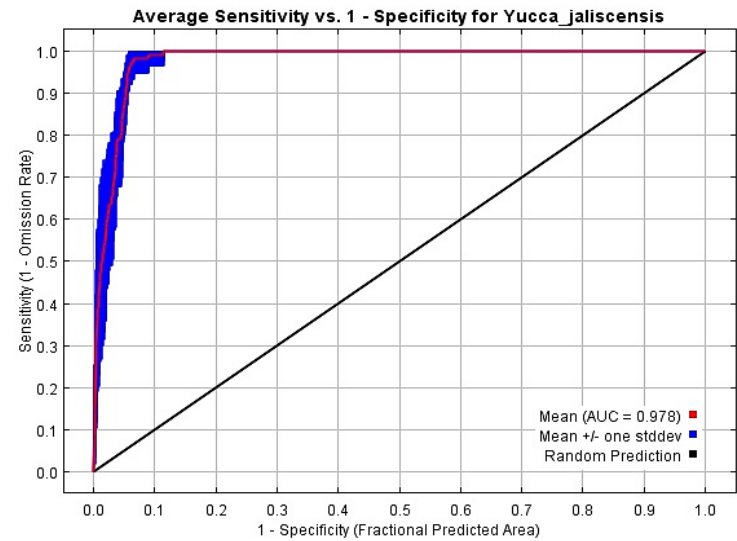
Curvas ROC y AUC de *Yucca gloriosa*



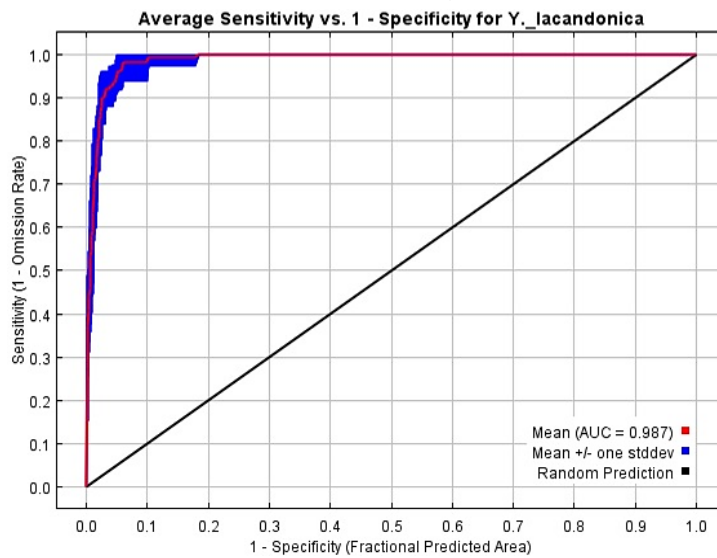
Curva ROC y AUC de *Yucca grandiflora*



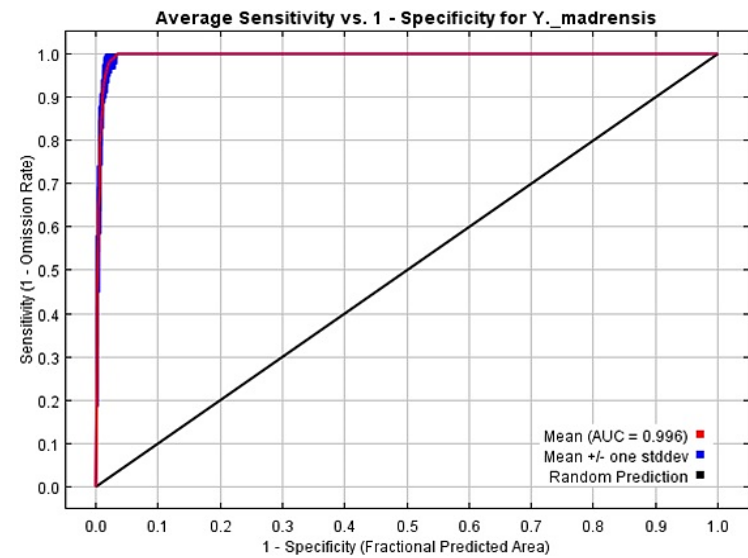
Curvas ROC y AUC de *Yucca guatemalensis*



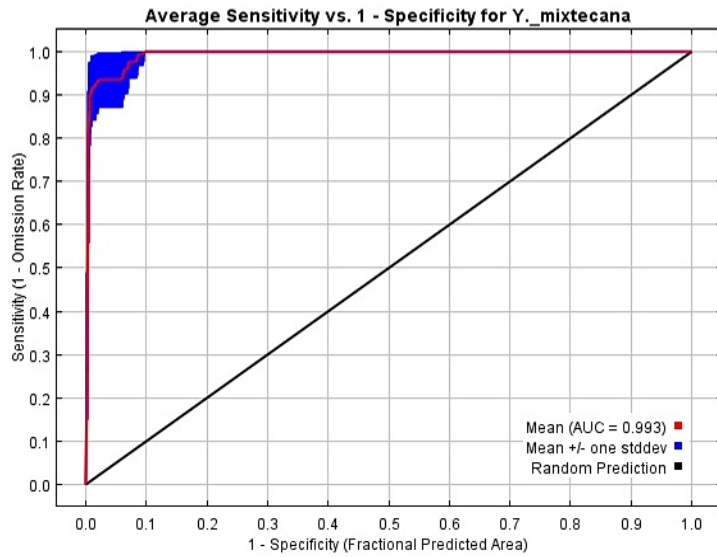
Curvas ROC y AUC de *Yucca jaliscensis*



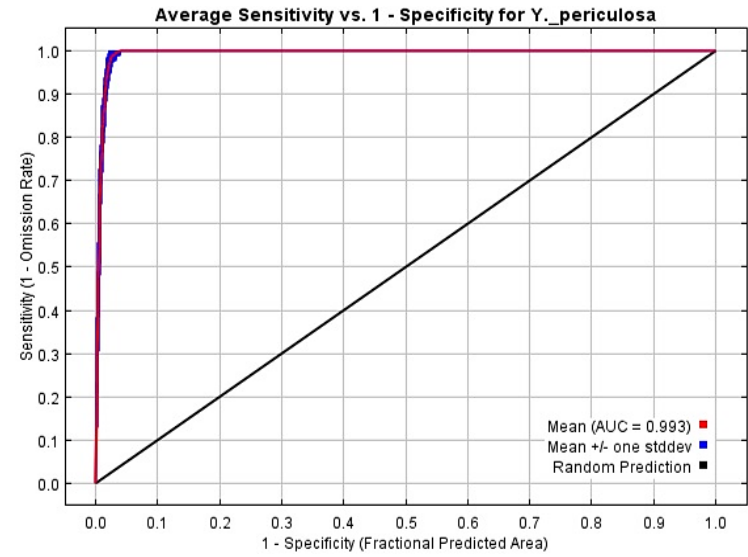
Curvas ROC y AUC de *Y. lacandonica*



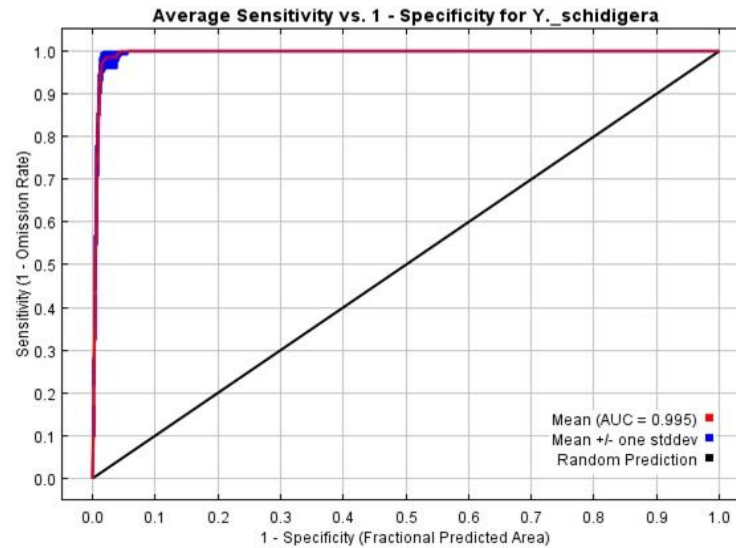
Curvas ROC y AUC de *Y. madrensis*



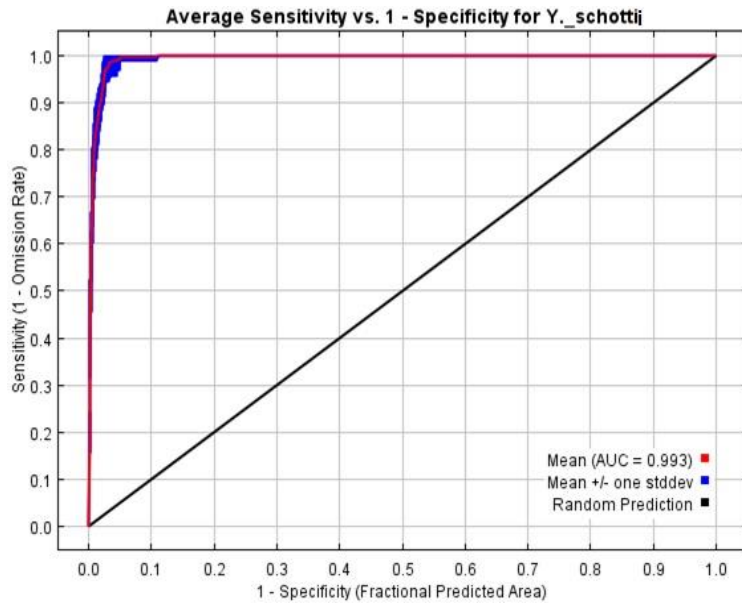
Curvas ROC y AUC de *Yucca mixtecana*



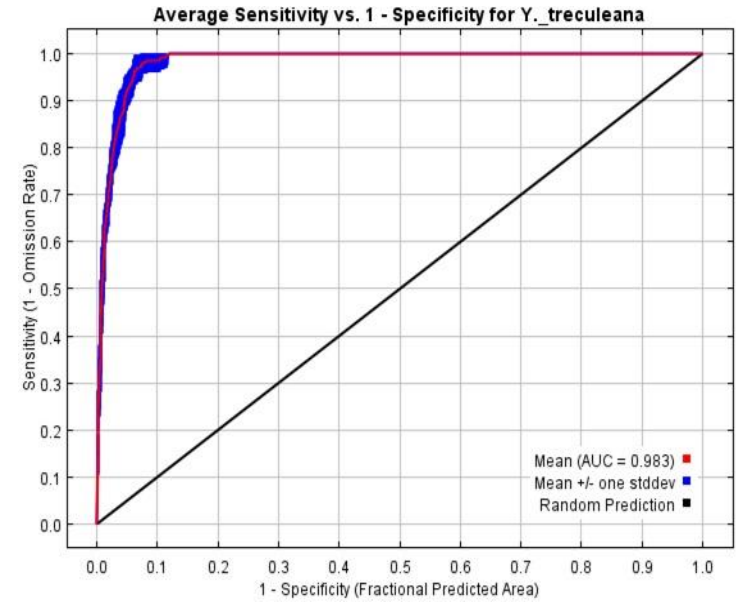
Curvas ROC y AUC de *Yucca periculosa*



Curvas ROC y AUC de *Yucca schidigera*



Curvas ROC y AUC de *Yucca schottii*



Curvas ROC y AUC de *Yucca treculeana*

ANEXO IV. CRITERIOS DEL MER POR ESPECIE

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca carnerosana*.

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|--------------------|--|-------------------|--|--------------------|---|--------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | 2 | 2 = 2 | 2 | Menor o igual que 500 = 3 | | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | | 3 = 1 | | 501- 5,000 = 2 | 2 | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | | 5,001- 50,000 = 1 | | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | 1 | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | Sí = 1 | | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | 2 |
| 1-3 = 3 | | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | 2 | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |
| 4-8 = 2 | 2 | Sí = 1 | 0 | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | | No = 0 | | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | 0 | Sí = 1 | | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | 1 | No = 0 | | No = 0 | 0 | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | 1 | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el | 0 | 500 m - < 1000 m = 1 | 0 | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | 1 |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|----------|---|------------|
| Territorio Mexicano. | | | | | | | |
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | | Mayor o igual que 1000 m = 0 | | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | | | 2 | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.45 | Total | 0.33 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | -1 |
| | | | | Sí = 1 | | b) No = 0 | |
| | | | | No = 0 | 0 | Total | 0.4 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0). | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | | | |
| | | | | b) Alta = 0 | 0 | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|------------|----------------------|-------------|
| | | | | polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | Total | 0.3 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 1.48 |

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca decipiens*

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|------------------------|--|-----------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | | 2 = 2 | 2 | Menor o igual que 500 = 3 | | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | 2 | 3 = 1 | | 501- 5,000 = 2 | 2 | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | | 5,001- 50,000 = 1 | | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | Sí = 1 | 1 | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | 2 |
| 1-3 = 3 | | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | 2 | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |
| 4-8 = 2 | 2 | Sí = 1 | | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | | No = 0 | 0 | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| | | regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | | | | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | | Sí = 1 | | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | | No = 0 | 0 | No = 0 | 0 | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | 2 | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | 1 | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. | | 500 m - < 1000 m = 1 | | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | 1 |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|----------|---|------------|
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | | Mayor o igual que 1000 m = 0 | 0 | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | 0 | | | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.55 | Total | 0.33 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | -1 |
| | | | | Sí = 1 | | b) No = 0 | |
| | | | | No = 0 | 0 | Total | 0.4 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0). | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta = 0 | | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------|----------------------|-------------|
| | | | | polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | Total | 0.39 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 1.67 |

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca filifera*

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|------------------------|--|-----------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | | 2 = 2 | | Menor o igual que 500 = 3 | | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | 2 | 3 = 1 | | 501- 5,000 = 2 | | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | 0 | 5,001- 50,000 = 1 | 1 | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|---|---|----------|--|----------|
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | Sí = 1 | | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | 0 | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | 0 | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | 2 |
| 1-3 = 3 | | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |
| 4-8 = 2 | | Sí = 1 | | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | 1 | No = 0 | 0 | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|---|---|----------|---|----------|
| | | regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | | | | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | | Sí = 1 | 1 | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | | No = 0 | 0 | No = 0 | | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | 1 | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | 0 | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | 2 |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. | | 500 m - < 1000 m = 1 | | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|---|---|-------------|
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | | Mayor o igual que 1000 m = 0 | 0 | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | 0 | | | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.36 | Total | 0.00 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | -1 |
| | | | | Sí = 1 | | b) No = 0 | |
| | | | | No = 0 | 0 | Total | 0.50 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | No = 0 | | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos? | | | |
| | | | | Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | No = 0 | | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0). | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta = 0 | | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------|----------------------|-------------|
| | | | | polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | Total | 0.43 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 1.29 |

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca grandiflora*

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|------------------------|--|-----------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | | 2 = 2 | 2 | Menor o igual que 500 = 3 | 3 | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | 2 | 3 = 1 | | 501- 5,000 = 2 | | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | | 5,001- 50,000 = 1 | | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | Sí = 1 | 1 | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | 2 |
| 1-3 = 3 | 3 | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | 2 | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |
| 4-8 = 2 | | Sí = 1 | | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | | No = 0 | 0 | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| | | regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | | | | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | | Sí = 1 | | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | | No = 0 | 0 | No = 0 | 0 | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | 2 | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | 1 | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. | | 500 m - < 1000 m = 1 | | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | 1 |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|----------|---|------------|
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | | Mayor o igual que 1000 m = 0 | 0 | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | 0 | | | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.64 | Total | 0.33 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | -1 |
| | | | | Sí = 1 | | b) No = 0 | |
| | | | | No = 0 | 0 | Total | 0.4 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0). | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | 0 | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 1 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta = 0 | | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------|----------------------|-------------|
| | | | | polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | Total | 0.48 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 1.85 |

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca jaliscensis*

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|--------------------|--|-------------------|--|--------------------|---|--------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | 3 | 2 = 2 | | Menor o igual que 500 = 3 | 3 | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | | 3 = 1 | 1 | 501- 5,000 = 2 | | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | | 5,001- 50,000 = 1 | | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | Sí = 1 | | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | 0 | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | 2 |
| 1-3 = 3 | 3 | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | 2 | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |
| 4-8 = 2 | | Sí = 1 | 1 | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | | No = 0 | | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| | | regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | | | | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | | Sí = 1 | | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | | No = 0 | 0 | No = 0 | 0 | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | 2 | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | 0 | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. | | 500 m - < 1000 m = 1 | 1 | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | 1 |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|----------|---|------------|
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | | Mayor o igual que 1000 m = 0 | | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | 0 | | | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.73 | Total | 0.33 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | |
| | | | | Sí = 1 | | b) No = 0 | 0 |
| | | | | No = 0 | 0 | Total | 0.5 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0). | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | 0 | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta = 0 | | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------|----------------------|-------------|
| | | | | polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | Total | 0.35 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 1.91 |

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca lacandonica*

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|------------------------|--|-----------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | 3 | 2 = 2 | 2 | Menor o igual que 500 = 3 | 3 | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | | 3 = 1 | | 501- 5,000 = 2 | | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | | 5,001- 50,000 = 1 | | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| El área de distribución es menor o igual a $1 \text{ km}^2 = 4$ | | Sí = 1 | 1 | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | 3 |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 1-3 = 3 | 3 | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | 2 | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |
| 4-8 = 2 | | Sí = 1 | 1 | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | | No = 0 | | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| | | regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | | | | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | | Sí = 1 | 1 | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | 3 | No = 0 | 0 | No = 0 | | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | 0 | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | 3 |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. | | 500 m - < 1000 m = 1 | 1 | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|---|---|-------------|
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | 1 | Mayor o igual que 1000 m = 0 | | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | | | | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.91 | Total | 0.56 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | |
| | | | | Sí = 1 | 1 | b) No = 0 | 0 |
| | | | | No = 0 | | Total | 0.80 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | No = 0 | | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos? | | | |
| | | | | Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | No = 0 | | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0). | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta = 0 | | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------|----------------------|-------------|
| | | | | polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | Total | 0.61 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 2.88 |

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca mixtecana*.

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|--------------------|--|-------------------|--|--------------------|---|--------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | 3 | 2 = 2 | 2 | Menor o igual que 500 = 3 | | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | | 3 = 1 | | 501- 5,000 = 2 | 2 | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | | 5,001- 50,000 = 1 | | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | Sí = 1 | | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | 0 | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | 2 |
| 1-3 = 3 | | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | 2 | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | |
| 4-8 = 2 | 2 | Sí = 1 | | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | | No = 0 | 0 | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| | | regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | | | | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | | Sí = 1 | | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | | No = 0 | 0 | No = 0 | 0 | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | 2 | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | 0 | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. | | 500 m - < 1000 m = 1 | 1 | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | 1 |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|----------|---|-------------|
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | | Mayor o igual que 1000 m = 0 | | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | 0 | | | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.63 | Total | 0.33 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | |
| | | | | Sí = 1 | | b) No = 0 | 0 |
| | | | | No = 0 | 0 | Total | 0.50 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos (en comparación con otros miembros de su linaje)? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | información asignar un valor de 0). | | | |
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | 0 | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta = 0 | | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------|----------------------|-------------|
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | Total | 0.30 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 1.76 |

Evaluación de los cuatro criterios del MER para *Yucca periculosa*.

| Criterio A. Características de la distribución geográfica. | Puntos (11) | Criterio B. Características del hábitat. | Puntos (9) | Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. | Puntos (23) | Criterio D. Impacto de la actividad humana | Puntos (10) |
|---|--------------------|--|-------------------|--|--------------------|---|--------------------|
| 1. Extensión de la distribución | | 1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? | | C-1. Demografía | | 1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? | |
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | 1 = 3 | | 1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0). | | a) Es beneficiado por el disturbio = -1 | |
| El área de distribución ocupa más de 1 km ² pero <1% del Territorio Nacional = 3 | 3 | 2 = 2 | 2 | Menor o igual que 500 = 3 | | b) No le afecta o no se sabe = 0 | |
| El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = 2 | | 3 = 1 | | 501- 5,000 = 2 | 2 | c) Es perjudicado por el disturbio = 1 | 1 |
| El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = 1 | | Mayor o igual que 4 = 0 | | 5,001- 50,000 = 1 | | 2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? | |
| El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0 | | 2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? | | Mayor o igual que 50,001 = 0 | | a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 | |

| | | | | | | | |
|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| El área de distribución es menor o igual a 1 km ² = 4 | | Sí = 1 | | 2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). | | b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| 2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes | | No = 0 | 0 | Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 | | c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 1-3 = 3 | | 3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? | | Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2 | 2 | d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | 1 |
| 4-8 = 2 | 2 | Sí = 1 | | Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4 | | e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0 | |
| 9-25 = 1 | | No = 0 | 0 | 3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0). | | 3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales? | |
| Mayor o igual que 26 = 0 | | 4) ¿La permanencia de la población requiere de | | ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? | | a) No = 0 | |

| | | | | | | | |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| | | regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? | | | | | |
| 3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón. | | Sí = 1 | | Sí = 1 | | b) Sí = 1 | 1 |
| 1 = 3 | | No = 0 | 0 | No = 0 | 0 | 4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? | |
| 2-3 = 2 | 2 | 5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón. | | ¿Hay clonalidad? | | a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 | |
| 4-5 = 1 | | Menor que 200 m = 3 | | Sí = 0 | 0 | b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 | |
| Mayor o igual que 6 = 0 | | 200 m - < 500 = 2 | | No = 1 | | c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 | |
| 4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. | | 500 m - < 1000 m = 1 | | ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país? | | d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 | 1 |

| | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|---|----------|---|-------------|
| Distribución periférica o extralimitada = 1 | | Mayor o igual que 1000 m = 0 | 0 | Sí = 1 | 1 | e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0 | |
| Distribución no periférica o extralimitada = 0 | 0 | | | No = 0 | | 5) ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ? | |
| Total | 0.63 | Total | 0.22 | ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? | | a) Sí = -1 | |
| | | | | Sí = 1 | | b) No = 0 | 0 |
| | | | | No = 0 | 0 | Total | 0.40 |
| | | | | ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿La floración es sincrónica o gregaria? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | ¿El taxón produce pocos propágulos? | | | |
| | | | | Sí = 1 | | | |
| | | | | No = 0 | 0 | | |
| | | | | C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0). | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|----------|--|--|
| | | | | 1) Variación molecular (heterocigosis). | | | |
| | | | | a) Baja (= 10%) = 1 | | | |
| | | | | b) Alta (> 10%) = 0 | 0 | | |
| | | | | 2) Estructura genética molecular. | | | |
| | | | | a) Baja (= 20%) = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta (> 20%) = 1 | | | |
| | | | | 3) Cantidad de variación genética. | | | |
| | | | | a) Baja = 1 | 1 | | |
| | | | | b) Alta = 0 | | | |
| | | | | 4) Nivel de diferenciación entre poblaciones. | | | |
| | | | | a) Baja = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Alta = 1 | | | |
| | | | | C-3. Interacciones bióticas especializadas. | | | |
| | | | | 1) ¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 3) ¿El taxón requiere un | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------|----------------------|-------------|
| | | | | polinizador específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | | | |
| | | | | b) Sí = 1 | 1 | | |
| | | | | 4) ¿El taxón tiene un dispersor específico? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | 7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos? | | | |
| | | | | a) No = 0 | 0 | | |
| | | | | b) Sí = 1 | | | |
| | | | | Total | 0.30 | | |
| | | | | | | Puntaje final | 1.55 |

