

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE *Yucca endlichiana* Trel. BASADAS EN  
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL E INDICADORES  
REPRODUCTIVOS.

Tesis

Que presenta ANA BERTHA MEZA COTA

como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS PARA ZONAS  
ÁRIDAS

Saltillo, Coahuila

Junio 2022

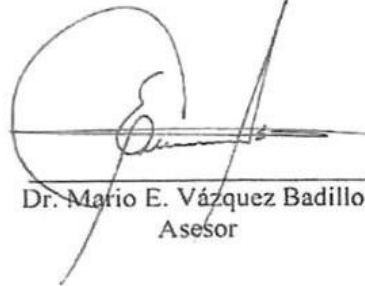
ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE *Yucca endlichiana* Trel. BASADAS EN  
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL E INDICADORES  
REPRODUCTIVOS

Tesis

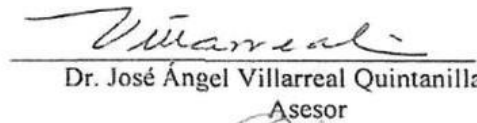
Elaborada por ANABERTHA MEZA COTA como requisito parcial para obtener el  
GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS PARA  
ZONAS ÁRIDAS con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



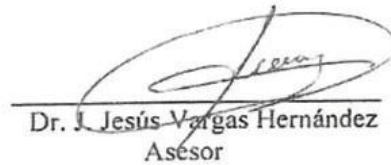
Dr. Celestino Flores López  
Asesor Principal



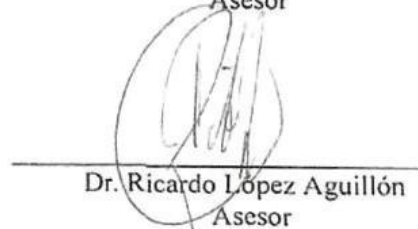
Dr. Mario E. Vázquez Badillo  
Asesor



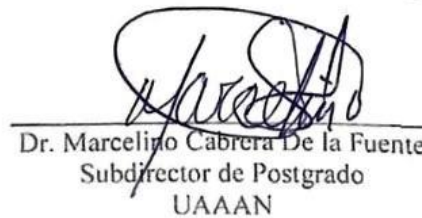
Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla  
Asesor



Dr. J. Jesús Vargas Hernández  
Asesor



Dr. Ricardo López Aguillón  
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

Saltillo Coahuila

Junio 2022

## **Agradecimientos**

**A Dios.** Por dejar que mi sueño se cumpla a base de trabajo y esfuerzo mostrándome que, aunque el camino sea arduo, no debe perderse la fe con él de la mano.

**A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” mi “ALMA TERRA MATER”.** Por recibirme de nuevo y otorgarme la oportunidad de realizar un doctorado en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas que no sólo brinda conocimientos, sino concientización sobre nuestro entorno actual y lo bello que es el desierto.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).** Por el apoyo otorgado durante el doctorado.

**Al Dr. Celestino Flores López.** Gracias a su comprensión, apoyo en los momentos en que la salud quebrantada me hacía retroceder, pero sobre todo al amor que demuestra día a día a su trabajo como forestal, gran ejemplo de dedicación y entrega.

**Al Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo.** Por compartir sus conocimientos desde maestría hasta hoy en doctorado con un sentido claro, generoso y positivo.

**Al Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla.** Por su atención, dedicación y palabras de ánimo cuando más fueron necesarias, gracias.

**Al Dr. J. Jesús Vargas Hernández.** Por sus acertadas observaciones, su sencillez y hacerme sentir bienvenida en el vasto espacio forestal.

**Al Dr. Ricardo López Aguillón.** Por experiencias compartidas, conocimientos prácticos, pero sobre todo por su optimismo y alegría tan contagiosos, una gran persona.

**Al Dr. Manuel Humberto Reyes Valdés.** Por estar siempre atento a las distintas situaciones para apoyarme, compartir no solo sus conocimientos, experiencias sino consejos de manera desinteresada y positiva.

**A la Dra. Francisca Ramírez Godina.** Por escuchar inquietudes y dar siempre palabras de aliento y ánimo.

**A la Dra. Hermila Trinidad García Osuna.** Por ser además de gran maestra y compartir sus conocimientos no sólo de cultivo de tejidos sino de la vida misma, siempre con una actitud positiva, generosa y llena de esperanza contagiosa.

**A la Dra. Alejandra Tapia:** Por ser como siempre generosa, sencilla al compartir conocimientos, materiales y sobre todo su gran fe.

**A la Dra. Rosa María Garza Quiñones.** Por su gran paciencia, orientación y apoyo en mi estadía en REFIZA.

**A las secretarías de postgrado.** Por su orientación desinteresada y eficaz.

**A alumnos del área Forestal UAAAN.** Agradezco su generosidad al compartir sus conocimientos, consejos y contagiosa alegría.

**A laboratoristas del área de fitomejoramiento:** Dulce, Yessi, Coco, Lulú, Lety, siempre atentas y gentiles con una excelente actitud de trabajo y amistad.

**A mis amigas y compañeras Martha Monserrath Orozco Sifuentes y Reyna García Rojas:** Por siempre darme ánimos, escuchar, compartir sin juzgar, apoyarme en campo, donde disfrutamos verdaderamente de la paz y la belleza de una parte de nuestro increíble desierto.

**A todos aquellos que preguntaban por mi trabajo, avances, estado de salud y darme ánimos para continuar y compartir alegrías.**

## **Dedicatoria**

### **A mi Familia:**

A mi esposo Cesar Zamarrón Rodríguez, por su apoyo para seguir mi sueño

A mis hijos Aylín Pamela, Cesar Alejandro, Juan Diego Zamarrón Meza y a mi pequeña nieta Sarah Amelíe, por su gran comprensión y ser inspiración para continuar día a día.

A mi familia en Mexicali, Brenda, Karen, Brendita, Jesús, Mauri, Félix, Tías Laura, Tere, Ceci, Magui, Ofelia, Rosy, Gloria, Angelita, Tíos Luis, Roberto, Armando.

A mis hermanas más que amigas, Norma y Minerva, que desde Mexicali siempre me dieron su confianza, compartiendo fe y risas para seguir adelante.

A mi amigo David por todo su increíble apoyo, mi compadre Carlos Ruelas ejemplo de trabajo y entrega.

Mi amiga María Luisa Amaro que desde maestría me ha apoyado y brindado su amistad y consejos de manera total y desinteresada.

A mis amigas Coco Bahena, Lulú Hernández, Yanira Yaber, Laurita Zúñiga, ejemplo de lealtad, bondad y fortaleza, así como a mis amigas de primaria Arcelia, Lety, Carlota, Yrma y Virginia, por más de 45 años de amistad.

A mis padres que fueron ejemplo de trabajo, responsabilidad y carácter (QEPD).

## Carta de aceptación del artículo



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO  
"Estudio en la Duda. Acción en la Fe"  
Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación  
Dirección de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica

DICTAMEN

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios  
[era@ujat.mx](mailto:era@ujat.mx)  
Teléfono/fax 01.993.3 58 15 00 Ext. 5041

Saltillo, Coahuila a 12 de mayo de 2021

Manuscrito— MORFOLOGÍA, CALIDAD DE SEMILLAS Y PLÁNTULAS DE *Yucca endlichiana* E IMPLICACIONES EN SU CONSERVACIÓN

Registro — 2834 ERA

Autores — Ana Bertha Meza-Cota, J. Jesús Vargas-Hernández, Mario Ernesto Vázquez-Badillo, José Ángel Villarreal-Quintanilla, Ricardo López-Aguillón, Celestino Flores-López

Dictamen — ACEPTADO PARA PUBLICACIÓN

*Comentarios*— Es un placer informar que su manuscrito ha sido aceptado para publicación. En anexo se envía la versión revisada, una vez que se atendieron los comentarios de los revisores.

Agradeciendo su interés por la revista, me despido con saludos.

Dra. María Liliانا Flores López  
Editora Invitada

C.c.p. Archivo

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL DEPARTAMENTO EDITORIAL DE REVISTAS UNIVERSITARIAS DE LA SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN, POSGRADO Y VINCULACIÓN DE LA UJAT

## Acuse de artículo enviado



CELESTINO FLORES LÓPEZ <cele64@gmail.com>

### Submission Confirmation for Distribución geográfica potencial de Yucca endlichiana Trel. en Coahuila e implicaciones en el muestreo y conservación

1 mensaje

Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente <em@editorialmanager.com>  
Responder a: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente <rforest@chapingo.mx>  
Para: Celestino Flores-López <cele64@gmail.com>

12 de mayo de 2022, 0:25

Estimado(a) Mr. Flores-López,

Su contribución titulada "Distribución geográfica potencial de Yucca endlichiana Trel. en Coahuila e implicaciones en el muestreo y conservación" se encuentra en revisión técnica por parte de la Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.

Si su manuscrito satisface los requerimientos técnicos y si se está dentro de la temática de la revista, se le asignará un número de control.

Usted podrá seguir el proceso de su escrito ingresando como autor en la URL siguiente:

<https://www.editorialmanager.com/rchscfa/>

Gracias por su contribución a nuestra revista.

Saludos cordiales.

Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente

Dear Mr. Flores-López,

Your submission entitled "Distribución geográfica potencial de Yucca endlichiana Trel. en Coahuila e implicaciones en el muestreo y conservación" is currently under technical review by the Journal Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.

A reference number will be assigned to your manuscript, if the manuscript meets the technical requirements and it is deemed to be within the scope of the journal with regard to content.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on as an author to the following URL:

<https://www.editorialmanager.com/rchscfa/>

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/rchscfa/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo al diagnóstico florístico y taxonómico del Norte de México (Granados *et al.*, 2011), en Coahuila, por su flora endémica, sobresale Cuatrociénegas, ya sea local o de manera regional. Son un total de 58 especies al borde del valle, configuran una zona de alta riqueza en plantas de distribución restringida. Con áreas importantes de endemismos, dentro de programas de protección al norte Sierras del Carmen, Santa Rosa; Sierra de La Paila, Sierra de Parras de la Fuente, Jimulco El Rosario y Sierra Madre Oriental, todas ellas de importancia para proyectos de conservación (Villarreal y Encina, 2005; González *et al.*, 2017). Villaseñor y Ortiz (2014) añaden que Sierra de Maderas del Carmen y Cuatrociénegas (inclusive Sierras de La Madera y San Marcos) contienen 108 taxa, lo que significa solo 30.1% de plantas endémicas en Áreas Naturales Protegidas.

Para el estado de Coahuila, las plantas contempladas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) son principalmente cactáceas y agaváceas (León *et al.*, 2018) el segundo género de importancia endémica en América posee alrededor de 200 especies de las cuales el 75% se encuentra en México, sumando con otras especies intraespecíficas 186 taxones, con importancia endémica; 129 (69%) son exclusivos del territorio mexicano (Gil *et al.*, 2007).

El grado de endemismo por restricción de zona o área, pero de extensa distribución, se encuentran en más de tres estados, hasta las microendémicas (88 taxones de los 129, equivalen al 68%) con distribución limitada por lado de uno a tres cuadros de un grado de latitud y longitud. Pueden ser de gran abundancia regional y eventualmente limitarse a montañas o algunos cañones (Abisaí, 2007; Rivera *et al.*, 2018).

Entre el género Agavaceae de zonas áridas y semiáridas se destacan las yucas (Pellmyr, 2003; North *et al.*, 2008; Thiede, 2020a), dominando zonas áridas del norte, donde favorecen captación de agua en suelo, incrementando así mismo su contenido orgánico y fortaleciéndolo contra la erosión (Matuda y Piña, 1980; Rocha *et al.*, 2006; Powell, 2013).

El género *Yucca* se divide en cuatro secciones y nueve series. El tipo de fruto es el principal carácter para la separación de las secciones: *Clistocarpa* de frutos esponjosos, indehiscentes; *Sarcocarpa* frutos carnosos, indehiscentes; *Chaenocarpa* frutos secos



dehiscentes septicidas y en *Hesperoyucca* frutos secos, dehiscentes, loculicidas (McKelvey, 1938 y 1947; Matuda y Piña, 1980; Clary y Simpson, 1995; Clary, 1997). En especial, la sección Sarcocarpa comprende las series *Baccatae*, *Faxonianae* y *Treculeanae* con base en el tamaño del gineceo y forma de vida de las especies; en la serie de *Baccatae*, junto con *Y. baccata*, *Y. grandiflora*, así como *Y. arizonica* se encuentra clasificada *Yucca endlichiana* Trel. (McKelvey (1947).

Se enfatiza de modo especial a *Yucca endlichiana*, por ser micro endémica de Coahuila, conocida comúnmente como pitilla o izote, su área limitada a tres cuadros de un grado de latitud por un grado de longitud, que son teóricamente 30 000 km<sup>2</sup>; es escasa y crece en manchones (García *et al.*, 2004; Villarreal y Encina, 2005; Rivera *et al.*, 2018). Esta especie es muy sensible a los factores de riesgo como la fragmentación del hábitat por desmonte, causante principal del menoscabo de biodiversidad y que comprende fundamentalmente el incremento del aislamiento espacial de los hábitats remanentes por su pérdida y reducción progresiva (García, 2011).

Por lo tanto, *Yucca endlichiana* se encuentra dentro de la Norm-059-SEMARNAT-2010, considerada sujeta a protección especial (Pr) (SEMARNAT, 2010), Cabe recalcar que *Yucca endlichiana* forma parte de nuestra riqueza fitogenética, y su población se ve mermada debido a la extracción de plantas completas y semillas para fines ornamentales y especies de cactáceas asociadas con fines comerciales, así como el pastoreo (Martínez *et al.*, 2016).

Es importante señalar que con la fragmentación y destrucción del hábitat hay una modificación gradual en la conformación del paisaje, y que, tienen una repercusión perjudicial en la supervivencia de las especies, reduciendo el tamaño de las poblaciones de los organismos dañados, donde la densidad de las especies decrece; al reducir el tamaño de las poblaciones y aumentar el número de los fragmentos de hábitat, aumentando el riesgo de alcanzar un umbral por debajo del cual no son viables; el aumento de la distancia entre fragmentos dificulta el intercambio de individuos entre las poblaciones aisladas, deteriorando la calidad de hábitat, complicando el equilibrio metapoblacional (Santos y Tellería, 2006; Altamirano *et al.*, 2007; Ortiz *et al.*, 2008; San Vicente y Valencia, 2012).

En estas poblaciones fragmentadas y pequeñas, por el aislamiento presentan endogamia, incrementando la depresión consanguínea o decremento del vigor, crecimiento, reproducción y supervivencia de las especies, como consecuencia de alelos deletéreos, expresan homocigosis (Quesada *et al.*, 2004; Picó y Quintana, 2005); aunado a ello, el efecto de la fragmentación, incrementa de manera significativa el riesgo de extinción local específica. (Young *et al.*, 2000). Además, otra consecuencia es la reducción de los polinizadores a los cuales les dificulta localizar las poblaciones en el momento exacto de la polinización; vulnerabilizando de forma extrema a las especies que se encuentran con menor tamaño de población (Fahrig, 2003; Guevara *et al.*, 2004; García, 2011).

Por las razones mencionadas, se justifican los estudios donde se especifique los tamaños de las poblaciones actuales a través de los diferentes tipos de muestreo, las áreas geográficas potenciales, la capacidad reproductiva y en sí, indicadores reproductivos que ayuden a identificar las condiciones actuales de las poblaciones, y conocer su estatus de riesgo a través de la evaluación MER (Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres de México) (Mosseler *et al.*, 2000; SEMARNAT, 2010; Maiti *et al.*, 2011). Estos elementos serán soporte para establecimiento de estrategias de conservación para la especie (Flores *et al.*, 2012).

Por todo lo anterior, el objetivo general fue establecer estrategias de conservación para *Yucca endlichiana* Trel. con base en el tamaño de sus poblaciones, la distribución geográfica potencial e indicadores reproductivos de la especie.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Descripción, Distribución e Importancia del Género *Yucca*

El género *Yucca* (Trelease, 1902; Matuda y Piña, 1980) es descrito como conformado por plantas perennes, suculentas: acaulescentes, en forma arbustiva o de árboles. Hojas ascendentes, por lo general agrupadas hacia los extremos de los tallos; semi- rígidas, planas o convexas, amarillo-verdosas, verdes (glaucas), en ocasiones estriadas; márgenes lisos, dentados o fibrosos; ápice agudo. Inflorescencia en panícula, erecta o pendular. El fruto puede ser indehisciente, tanto carnoso (baya), como seco y esponjoso; o dehiscente (cápsula). Semilla plana, lisa o rugosa, brillante u opaca; color negro cuando madura, con o sin ala marginal (Pellmyr *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2008).

La reproducción de las yucas es tanto sexual (por semilla) como vegetativa (brotes o retoños). De manera aparente, la floración de las *Yuccas* arborescentes (muy ramificadas) no es uniforme en la misma planta (*Y. filifera*, *Y. decipiens*) debido a la floración escalonada, es decir, en tanto unas están en completa floración (antesis) otras la iniciarán y otras ya fructifican, por ello la floración y fructificación de cada especie (en una misma localidad) puede durar más de un mes.

Referente a polinización, generalmente todas las especies de este género tienen polinización entomófila nocturna a través de un lepidóptero *Tegeticula yuccasela* Riley, cuya larva crece en el fruto o cápsula, después de la oviposición en ovario por parte de la polilla que transporta polen desde el androceo hasta el estigma (Granados y López, 1998; Rechy, 2000). Entre la *Yucca* y la palomilla existe una asociación muy importante o simbiosis, donde el insecto precisa más de la planta debido a que esta puede reproducirse también de manera asexual (Althoff *et al.*, 2006, 2012).

Los porcentajes de germinación de las semillas en la mayoría de las especies varían del 60 a 80 por ciento, aunque su viabilidad alcanza solamente el 48 por ciento. Con respecto al crecimiento de las plántulas es lerdo, al inicio se confunden con algunas gramíneas, más adelante adquieren la forma de una planta suculenta; al llegar a los cuatro o seis meses, las hojas embrionales comienzan a ser reemplazadas por las hojas características de la

etapa adulta. Hasta los 18 a 36 meses la planta presenta las hojas de esta etapa (Pellmyr, 2003; Pellmyr *et al.*, 2007).

La reproducción asexual se origina al producir brotes en raíces; con frecuencia los retoños provienen de plantas jóvenes y crecen como la planta madre, pudiendo parecer que nacieron al mismo tiempo; en ocasiones los brotes se desarrollan en el tronco principal, al romperse las ramas y producir raíces al caer y tener contacto con el suelo (Piña, 1984).

Matuda y Piña (1980) indican que la mayoría de las clasificaciones botánicas se basan en características morfológicas, considerando ejemplares adultos, con hojas maduras, flores en antesis y frutos maduros; la forma de raíz, tallo, semilla, posición y forma de inflorescencias, dando menor importancia al tamaño de las hojas y frutos debido a ser mayormente influenciados por el medio ambiente. La clasificación del género *Yucca* se ha ido cambiando con el tiempo, una de las más actuales es la de Hochstätter (2016), donde menciona que el género *Yucca* abarca alrededor de 50 especies y 24 subespecies agrupadas en 5 secciones:

- Sección *Endlichiana* (*Yucca endlichiana* único representante).
- Sección *Yucca* (antes *Sarcocarpa*)
- Sección *Clistocarpa*
- Sección *Hesperoyucca*
- Sección *Chaenocarpa*

Algunas especies del género *Yucca* muestran preferencias a diferentes tipos de suelos (topografía, profundidad y composición) regímenes térmicos (altitud y altura sobre el nivel del mar) regímenes pluviométricos, otras especies se circunscriben a cuencas hidrográficas (Matuda y Piña, 1980; Pellmyr *et al.*, 2007; Magallán *et al.*, 2014).

Aun viviendo en zonas de precipitación media, estas tienen un mejor desarrollo en suelos menos húmedos (como ejemplo *Y. lacandonica* que es epífita); al derivar de manera filogenética de fruto carnoso a capsular (Trelease, 1902; Webber, 1953) se considera que es mayor su adaptación a zonas áridas; asimismo se cree que en el pasado era amplia la distribución del género, pero fue reduciéndose poco a poco a áreas desérticas con menor inferior competencia con otras plantas.

Se denota que el centro de distribución del género *Yucca* es la altiplanicie mexicana, siendo actualmente su área de distribución desde la frontera de Canadá (*Y. glauca*), siguiendo la curvatura del Río Missouri en Estados Unidos, hasta Centroamérica, Islas Bermudas y las Antillas (Trelease, 1902; Rzedowski, 1965; Hochstatter, 2010). Incluyendo Dakota del Norte hasta Durango, de la costa del Atlántico hasta Nevada (excepto Grandes Lagos) predominan las especies de fruto seco, mientras que las especies de frutos carnosos van desde el sur de las Rocallosas hasta la Península de California, el Altiplano Mexicano y Centroamérica (ejemplo *Y. aloifolia*) (Amaro, 1982).

En zonas áridas y semi-áridas se encuentran la mayoría de especies de *Yucca* con clima BS y BW de Estados Unidos y México, donde caracteriza al matorral desértico rosetófilo e izotal; formando parte del bosque tropical caducifolio o arbustal espinoso con climas menos secos Aw y Cw Köppen, se encuentran *Y. treculeana* y *Y. succulenta*, en zonas húmedas clima Af, Am y Aw Köppen forman parte del bosque tropical caducifolio con *Y. aloifolia* y *Y. elephantipes* y *Y. lacandonica* únicamente se encuentra en bosque tropical perennifolio. Siendo clasificadas *Y. valida*, *Y. filifera*, *Y. decipiens* y *Y. periculosa* como especies vicariantes (plantas emparentadas taxonómicamente, sin embargo, distribuidas en áreas separadas) (Rzedowski, 1991; Wilson *et al.*, 2005).

El género *Yucca* es de suma importancia en el lugar en el que se desarrolla, sea del tipo ecológico o sea del tipo económico. En el primer caso, estas plantas constituyen parte esencial para evitar la erosión del suelo, retención del agua e incrementando el contenido de materia orgánica, asimismo proporciona alimento, refugio a la fauna silvestre, sea contra bajas temperaturas y altas temperaturas acompañadas de radiaciones solares fuertes y plantas nodrizas para otras plantas silvestres. Las yucas, en el sentido económico, han sido utilizadas como plantas de ornato en áreas verdes, en continentes americano y europeo (Ridaura, 1980; Maiti *et al.*, 2011; Reyes *et al.*, 2013; Domínguez *et al.*, 2013).

Las yucas son utilizadas también como alimento tanto al hombre como al ganado, la inflorescencia cruda o cocida y frutos canosos (dátiles) de diferentes especies de *Yucca* (ejemplo *Y. filifera*, *Y. schidigera*, *Y. valida*) por indígenas de Baja California (pai pai y kilihuas) como indígenas totonacas y nahuas (Cabrera *et al.*, 2020; Feinman y Nicholas, 2020), inclusive de frutos secos de algunas especies se obtiene harina. De la pulpa o

carnaza, que contiene fructosa hasta un 41% por ejemplo de *Y. filifera*, es usada para elaboración de dulces como camote, mermelada, ate o cajetas, inclusive elaborar bebidas fermentadas alcohólicas o bien vinagre; se obtiene aceite de semilla comestible semejante al cártamo además de ser utilizadas en alimento para ganado bovino como en la avicultura (Amaro, 1982; Ramos, 2015).

Es importante para las comunidades para la industria de hilados y tejidos de ixtle de palma proveniente de hojas y la planta para producir cuerdas, jarcería, sandalias, ropa, redes, bolsas. Debido a la calidad de la pulpa de su fibra resistente, es empleada para fabricación de papel estraza. En la construcción es usada para cercas en el caso de ganado, paredes o techos como material impermeable (Romahn, 1984).

Como uso medicinal las raíces han sido empleadas como laxante, hojas de *Y. baccata* (Romahn, 1984; Smith *et al.*, 2008; Cedeño *et al.*, 2020) son utilizadas por indígenas kákapo contra mordidas de víboras, al pinchar con la punta áspera de la hoja de la yuca el contorno de la mordedura y succionar y escupir el veneno en la sangre, también la raíz es usada para elaborar un jabón o champú para evitar o controlar caída de cabello.

Los restos fibrosos o bagazo de las yucas, puede ser empleado como combustible, después de separar saponinas y la mayor parte de las fibras. Desde el punto de vista forestal, es importante tener el control de la explotación de los recursos, debido a que, al usar las plantas, los troncos, las semillas, hojas, flor y fruto de este género, es de suma importancia el tiempo que tarda en producirse una nueva generación para su aprovechamiento, evitar la sobreexplotación que derive en la desaparición de la especie y degradación del suelo (Rzedowski, 1991).

### **Descripción de *Yucca endlichiana***

*Yucca endlichiana* es descrita como una planta acaulescente, rizomatosa y surculada con hojas escasas, erguidas, gruesas, rígidas; hemisféricas en la base y conduplicadas a todo lo largo; de 50 cm de largo por 1.5 cm de ancho; glabras, azul verdosas y pardo rojizas en la base; margen castaño, finamente fibroso. Espina terminal corta y cónica. Panícula más corta que las hojas, abundantemente ramificada, ramillas con unas seis flores. Flores con

pedicelos filiformes de 2.5 cm de largo, cremosas o café rojizas: segmentos del perianto ovales, agudos, de 1.8 cm de largo por 0.5 cm de ancho; filamentos cortos, finamente papiláceos; ovario oblongo. Fruto pendiente, subgloboso o anchamente elipsoidal, de 3 cm de largo por 2-2.5 de diámetro. Semillas de 5-6 x 6-7 mm (Trelease 1920; Matuda y Piña 1980; Thiede, 2020b).

### **Endemismos y Estatus de Riesgo de *Yucca endlichiana***

La definición de endemismo describe a individuos que sufren una evolución de manera separada en espacio y forma apartada de otros. Este espacio puede ser por áreas, regiones, localidades y hasta países, donde crecen exclusivamente. El endemismo abarca todo el planeta, tanto en especies del reino vegetal como animal (Cabello *et al.*, 2007; Fuentes *et al.*, 2018), se manifiesta como resultado de la especiación a consecuencia de barreras naturales que obstaculizan el intercambio genético, por ello, aparecen especies diferentes restringidas a esas áreas geográficas. Las especies endémicas son más propensas a la extinción, debido a que sus poblaciones por lo general son reducidas en número de individuos, por lo que, su respuesta genética ante el cambio de las condiciones naturales es menor, lo que demanda desarrollar programas de protección.

Cuanto un endemismo tiene el área de distribución más restringida, más prioritaria será en su necesidad para la conservación de la misma forma que en especies raras, debido a su poca abundancia en un área determinada. Poniendo atención a el contexto territorial en el que se trabaje, según su clasificación de especie con algún grado de amenaza o especie rara (Noguera, 2017).

Especies endémicas (también llamadas especies microareales), son aquellas especies o taxones (puede ser un género, por ejemplo) que están limitados a una ubicación geográfica o área muy concreta y fuera de estas no se encuentra en otro lugar. La extensión territorial puede ser muy variable, con especies endémicas de una población determinada o de una zona, provincia o país. Con frecuencia las especies endémicas se encuentran bajo amenaza, pero en ocasiones las modificaciones de su hábitat por el hombre les beneficia,

por lo que aumenta su rango de distribución (González y De Silva, 2003; Fuentes *et al.*, 2018).

Una propuesta de clasificación de endemismos fue hecha por García *et al.* (2004) y Noguera (2017), que consideran que las especies endémicas pueden cuasiendémicas y semiendémicas. Las primeras “son aquellas que penetran ligeramente a algún país vecino debido a la continuidad de los hábitats o sistemas orográficos”; y las especies semiendémicas son definidas como “las especies que son endémicas a un país o a una región durante una época del año”. Las anteriores variaciones del “endemismo” coinciden con la propuesta de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, con base en la restricción y nativo de una isla pequeña, de un país o de un continente (UICN, 2012).

Por otra parte, se ha relacionado el endemismo con el origen de los taxones y su distribución. Se ha propuesto el paleoendemismo para definir a los taxones antiguos y restringidos a un área geográfica (Major, 1988), los cuales inicialmente tuvieron amplias áreas de distribución (Malik, 2016), son taxones sistemáticamente aislados, tales como géneros representados por una única especie. Sus áreas de distribución representan remanentes de áreas de distribución amplias, pero que se han reducido por ejemplo a causa de variaciones climáticas.

Al respecto, Noguera (2017) señala la siguiente de clasificación de endemismo. Paleoendemismo son especies endémicas que, por su morfología, sus características químicas y genéticas, forman grupos aislados en el contexto de sus congéneres como si fueran líneas filogenéticas independientes. Esquizoendemismos son aquellas especies endémicas que han aparecido por un proceso de aislamiento gradual (especiación alopátrida) y han llegado a constituir taxones con barrera reproductiva. Patroendemismos son los endemismos que por un proceso de poliploidía o alopoliploidía generan nuevos taxones que colonizan de forma rápida considerables extensiones y tienen un área de distribución mayor que la de sus progenitores. Apoendemismos son los taxones que derivan unos de otros: los más recientes ocupan zonas de menor proporción que los más antiguos, y Criptoendemismos que son especies o taxones sin describir que pueden o no ser buenos taxones endémicos.



El patrón de endemismos según Noguera (2017) es la superposición, recurrencia o concentración de áreas de distribución de especies endémicas muy utilizado en estudios ecológicos y de conservación, además, si se conoce una área por la presencia de varias especies endémicas, se puede solicitar que dicha área sea reclasificada como área protegida, como es el caso de El proyecto de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) pertenece al Programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), que se orienta a la detección de áreas, cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad en diferentes ámbitos ecológicos (Vázquez *et al.*, 2019).

El estatus de riesgo es establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-095-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) que es el instrumento normativo de protección ambiental que enlista las especies nativas de flora y fauna consideradas en riesgo, tanto terrestres como acuáticas. Dicha norma proporciona una metodología — el método de evaluación de riesgo de extinción (MER) — para categorizarlas. La Norma establece cuatro categorías: “probablemente extinta en el medio silvestre” (E); “en peligro de extinción” (P); “amenazada” (A); y “sujeta a protección especial” (Pr).

Criterio A. Distribución. Descripción de la Distribución

Criterio B. Hábitat. Antecedentes, hábitat actual, necesidades naturales del taxón

Criterio C. Vulnerabilidad intrínseca. Estado actual de la especie

Criterio D. Impacto humano. Factores de riesgo reales y potenciales. Tendencia de la especie, Impacto humano directo e indirecto

El Método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER) evalúa y da valores a índices que son índice de rareza de la especie, con cinco criterios, A. características de distribución geográfica con la suma subtotal criterio A /11; B. características del hábitat suma subtotal criterio B/9; criterio C1 demografía, C2 genética y C3 interacciones bióticas especializadas, suma subtotal C1+C2+C3/23 y el segundo índice que es impacto antropogénico D actividad humana con un subtotal de suma de D/10 (Muro, 2011; Sánchez *et al.*, 2013).

Los criterios para evaluar el índice de rareza se dividen en cinco evaluaciones de los siguientes criterios: A Características de distribución geográfica subtotal  $A = \text{suma } A/11$ ; B Características del hábitat subtotal  $B = \text{suma } B/9$ ; C1 Demografía, C2 Genética; C3 Interacciones bióticas especializadas subtotal suma  $C/23$ . Uno de los más importantes criterios es el Impacto antropogénico D Actividad humana subtotal suma  $D/10$ .

La clasificación de estatus según los resultados arrojados después de realizar los cuestionarios informativos sobre la especie en estudio, su hábitat y demás, será manejado con base en los cuatro criterios con la misma ponderación de valor máximo 1; aquellas especies Pr (sujetas a protección) tendrán un valor mayor o igual 1.5 y menor de 1.7, donde el criterio D antropogénico sea igual o mayor que 0.3. Las especies A (amenazadas) deberán tener un valor mayor de 1.7 y menor de 2, son poblaciones hiperdispersas, donde el valor D sea mayor de 0.3 y menor de 0.4; las especies P (en peligro de extinción), serán aquellas en las que la sumatoria sea mayor o igual a dos, siendo área de distribución menor de 1 km cuadrado, número de individuos menor o igual a 500, donde el impacto humano no permite viabilidad de la población existente, y la especie con población hiperdispersa con una densidad de un individuo por cada cinco o menos hectáreas (Sánchez *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2018).

Con respecto al número de especies de *Yucca* a nivel mundial son alrededor de 49, en México 29 especies y en Coahuila 11 (*Y. carnerosana*, *Y. faxoniana*, *Y. endlichiana*, *Y. treculeana*, *Y. reverchonii*, *Y. elata*, *Y. filifera*, *Y. coahuilensis* endémica, *Y. rigida*, *Y. rostrata*, *Y. thompsoniana*). De las especies de *Yucca* en México, en la norma 059-SEMARNAT-2010, en categoría de Protección especial están *Yucca endlichiana*, *Yucca grandiflora* y *Yucca queretaroensis*; en categoría amenazada está *Yucca lacandonica* (SEMARNAT, 2010).

### **Diversidad Genética**

La diversidad genética de las especies es la base de los procesos evolutivos y es determinante en la facultad de adaptabilidad a los cambios ambientales del lugar donde se encuentra la especie, incluyendo los efectos antropogénicos. En las características

heredables afecta la evolución y forma de la complicación de los seres vivos. La diversidad representa el depósito de las posibles réplicas al medio tanto físico como biológico, haciendo posible la adaptación a sus posibles cambios (Martínez, 2005; Whittaker *et al.*, 2005).

En su mayoría, las poblaciones de las especies naturales muestran un cierto grado de diferenciación genética, la cual posiblemente dada por la interacción de una gran variedad de agentes no excluyentes, como barreras ambientales, procesos históricos, diferentes historias de vida y la distancia geográfica entre subpoblaciones. Dichos factores pueden modelar de algún modo la información genética entre subpoblaciones de una especie, conocida como estructura genética (Prentice, 1997; Balloux y Lugon, 2002).

La diversidad genética se produce de dos formas: (1) mutaciones y (2) recombinación de genes. Las mutaciones proveen el material básico de la diversidad genética y las recombinaciones incrementan este potencial, donde la diversidad genética de una población requiere del número total de genes polimórficos y del número de alelos de cada gen polimórfico. La existencia de genes polimórficos propicia que los individuos puedan ser heterocigóticos para un gen (De Vicente *et al.*, 2004).

### **Dinámica de Poblaciones Pequeñas y Muestreo**

Las poblaciones pequeñas de plantas y animales son frecuentes dentro de la naturaleza, pues algunas especies habitan de modo natural en forma reducida y dispersa, y básicamente existen tres tipos (Brachman y Hobehm, 2014). En primer lugar, las poblaciones que siempre han sido pequeñas debido a limitaciones ecológicas (confinamientos a zonas geográficamente aisladas, adaptaciones a un tipo de clima o recurso escaso, áreas con los requerimientos particulares del hábitat de las especies son lejanos entre sí y se encuentran más allá de la distancia común de dispersión, o una menor capacidad de dispersión. En segundo lugar, están las que provienen de poblaciones grandes venidas a menos; como es el caso de diversas especies mexicanas cuyo hábitat ha sido fragmentado, colocándolas en un umbral de riesgo o borde a la extinción, la mayoría de estas especies se encuentran enlistadas en la NOM-059.SEMARNAT-2010, bajo

alguna categoría de riesgo para evitar su extinción. Y, por último, aquellas que son propágulos de poblaciones grandes que están empezando a medrar en sitios recientemente colonizados, como lo hacen las especies invasoras (Martínez y Oro, 2006; Loo, 2011).

Las poblaciones pequeñas afrontan, además, cuestiones genéticas y ecológicas que las colocan en un umbral de riesgo, como son la deriva genética, diversidad genética baja y la endogamia; así como la reducción de su densidad (por depredadores u otros factores), la fragmentación del hábitat, la falta de interacción con otras formas de vida, alta susceptibilidad a eventos estocásticos ambientales y demográficos; todo esto se traduce en un menor éxito reproductivo o una mayor tasa de mortalidad, lo que conduce a las poblaciones a la extinción (Martínez y Oro, 2006).

Estos efectos de la deriva o la endogamia pueden ser cuantificados determinando el tamaño efectivo de la población ( $N_e$ ), que considera el tamaño del recuento actual de una población y también su historia. El tamaño efectivo de la población es el tamaño de una “población ideal” de organismos (ideal se refiere a una población hipotética en el sentido de Hardy Weinberg con un tamaño constante de la población, proporción igual sexo, y no inmigración, emigración, mutación, o selección) que experimentaría los efectos de la deriva o la endogamia en la misma medida que la población que se estudia (López, 2000; Loo, 2011).

La pérdida temporal del hábitat puede tener un efecto devastador en poblaciones si el tamaño o el número de estas es muy bajo (Prentice, 1976; Martínez y Oro, 2006); las poblaciones pequeñas tienden a la extinción por tres razones (Loo, 2011), primero, la pérdida de diversidad genética y sus consecuencias. A través de la depresión endogámica, que es la pérdida de adaptación (vigor, fecundidad, inmunidad) a causa de la disminución de variación genética por homocigosidad. Permite la expresión de alelos nocivos heredados de ambos progenitores. También por la depresión exogámica, reproducción entre individuos de distintas especies, subespecies o variedades de la misma especie. La descendencia débil o estéril por la incompatibilidad de los cromosomas o sistemas enzimáticos heredados.

La segunda razón son las fluctuaciones demográficas debidas al azar, en las poblaciones, los incrementos de natalidad y mortalidad de los individuos pueden variar en un gran

intervalo. Cuando una población pequeña, por debajo de los 50 individuos, la variación de las tasas de natalidad y mortalidad causan que el tamaño de la población fluctúe hacia arriba y hacia abajo al azar, con mayor probabilidad de extinción, conocida como estocasticidad demográfica, donde entre menor sea la población, mayor es la probabilidad de que se extinga por esta causa.

Son la tercera razón las fluctuaciones ambientales, variaciones al azar del ambiente físico y biológico (estocasticidad ambiental), como las catástrofes naturales de intervalos impredecibles (sequías, tormentas, inundaciones, terremotos, erupciones volcánicas, etc.) posibles causantes de variación en el tamaño de la población de una especie (Williams y Jackson, 2007).

Un concepto relacionado con las poblaciones pequeñas y que tienen que ver con el muestreo, es la regla 50/500, propuesto por Franklin (1980). La parte “50” de la norma 50/500 establece que las poblaciones con un tamaño efectivo de la población de consanguinidad ( $N_e$ ) menores de 50 años están en riesgo inmediato de extinción. Esto se debe a que, en tales poblaciones pequeñas, la endogamia y la estocasticidad demográfica rápidamente puede empujar a la población en un vórtice de extinción. El “500” parte de la regla significa que las poblaciones con un tamaño efectivo de la varianza de menos de 500 están en situación de riesgo a largo plazo de la extinción. En estas poblaciones, la deriva genética puede ser una gran fuerza, lo que lleva a la pérdida eventual de la variación genética (Frankham *et al.*, 2014).

### **Indicadores reproductivos, calidad de semilla y plántula**

El conocimiento de las características de semillas de zonas áridas, sus adaptaciones morfológicas, fisiológicas, tipo de reproducción, viabilidad y germinación son de suma importancia para su establecimiento, regeneración, permanencia o en su defecto, extinción (Cota-Sánchez y Abreu, 2007), además tener bases para su conservación *ex situ* en bancos de germoplasma así como para establecimiento de programas de reforestación donde es posible revertir la disminución de las poblaciones y garantizar el éxito de su conservación al reproducirlas (García, 2011). Además, hay otros indicadores como el vigor de

germinación y la calidad de la plántula, que son importantes conocerlos en reproducción *ex situ* y/o manejo de especies, así para los programas de reforestación; para este propósito existe indicadores como el valor de germinación de Czabator (Zambrano y Díaz, 2008), Djavanshir y Pourbeik (Tilki y Alptekin, 2005), así como el índice de Dickson (Binotto *et al.* 2010). Sin embargo, esta información no es suficiente cuando se tienen especies que sufren de fragmentación en su hábitat, en este caso es necesario conocer también los indicadores reproductivos como son eficiencia y producción de las mismas a través de peso de semillas, semilla llena, semilla vana, óvulo abortado, semilla dañada, así como dimensiones y peso del fruto, que permiten evaluar desde la producción, la eficiencia de semillas, problemas de endogamia y la aptitud de la progenie (Mosser, 2000; Flores *et al.*, 2012; Andrade *et al.*, 2021).

### **Estimación de Áreas Potenciales**

Áreas potenciales es relacionada con estudios autoecológicos paramétricos de especies forestales, con vistas a tipificar de forma cuantificada la capacidad de un territorio para mantener masas estables de una determinada especie forestal, a través de la producción y análisis de una serie de parámetros ecológicos de naturales fisiográfica, climática (Manzanilla *et al.*, 2019; Vázquez, 2019).

Los modelos de distribución de especies son una herramienta nueva utilizada para analizar patrones espaciales de presencia de organismos, que se basan en procedimientos estadísticos y cartográficos que, partiendo de datos reales de presencia, permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales. Para ello pueden usarse los datos de colecciones de historia natural, adquiriendo así una nueva identidad. Los modelos han avanzado desde su aplicación a especies aisladas hasta análisis de cientos o miles de taxones para combinarlos en el análisis de la biodiversidad y riqueza específica (Mateo *et al.*, 2011).

Actualmente el término más empleado es “modelos de distribución de especies” que se reflejan cartográficamente en un mapa de idoneidad de hábitat o de hábitat potencial. El debate en torno a la denominación de los modelos está fundamentado en la interpretación ecológica que reciben por diferentes autores. Mientras unos autores los denominan como

“modelos de idoneidad”, que representan la distribución potencial de la especie, entendiendo como tal aquel espacio donde podría estar presente la especie, objeto de estudio en función de sus características ambientales (Alberdi, 2020).

También se han descrito como “modelos del hábitat potencial”, afirmando que el concepto de hábitat puede ser aplicado a la descripción de la asociación entre los organismos y los factores ambientales; como una aproximación en la modelización ecológica del hábitat de una determinada especie, algunos utilizan preferentemente el término “modelo del nicho ecológico”, que sería la conjunción de condiciones ecológicas que la especie o sujeto de estudio puede soportar (Pulliam, 2000; Vetaas y Grytnes, 2002).

Uno de los programas para la modelación de la distribución geográfica de especies es MaxEnt, que tiene doble propósito: localizar áreas con posible presencia y áreas potenciales para su establecimiento, basado en el principio de la máxima entropía, planteado por Shannon en 1948, este es un método para el cálculo de la distribución geográfica con mayor probabilidad para una especie, por medio de información biológica y condiciones ambientales registradas, examinándolas para encontrar la distribución con mayor homogeneidad. Una de las funciones de las variables ambientales expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie en estudio. La estimación de la importancia de cada variable en la distribución de la especie da un valor alto en una celda determinada, indicando que presenta condiciones favorables para la presencia de la especie, proporcionando curvas de respuesta (Phillips *et al.*, 2006; Phillips y Dudik, 2008).

### **Normatividad y Estrategias de Conservación *in situ* y *ex situ***

La conservación *in situ* no se refiere a las “áreas protegidas”, simplemente significa que la conservación es realizada en el sitio de origen donde la diversidad genética debe ser considerada y utilizada al mismo tiempo. En sí, la conservación significa “uso sabio”. La conservación genética *in situ* puede ser practicada en sistemas administrados, en reservas especiales de conservación genética, y en áreas protegidas que son diseñadas para la protección general de la biodiversidad. Esto implica el mantenimiento continuo de una población dentro del medio ambiente donde fue originado y con lo cual se asume que tiene adaptación (Amaral *et al.*, 2004). Su principal limitante radica en el escaso conocimiento

de la distribución de la diversidad genética del recurso a conservar, por lo que generalmente se hace a partir de datos ecológicos.

El método *ex situ* implica el movimiento fuera del área natural y lleva regularmente consigo la creación de áreas con un limitado número de individuos, donde garantizar la dinámica de la población no es tomado en consideración. Comúnmente, se realiza a través del movimiento de semillas o colecciones *ex situ* de estas, los bancos de clones y el tejido almacenado en medios de cultivo son ejemplos viables para muchas especies de plantas con dificultades para su propagación (Amaral *et al.*, 2004). El método *quasi in situ* concibe una nueva estrategia para lograr un puente entre la *ex situ-in situ* y está dirigida básicamente para especies forestales, especies amenazadas y aquellas con una presión biótica o abiótica que reduce de manera continua el tamaño y número de sus poblaciones. En este método, las colecciones *ex situ* se mantienen en ambientes de forma natural o seminatural, donde se preserva tanto la diversidad genética neutral y adaptativa como parte complementaria de la estrategia de conservación *ex situ/in situ* (Volis y Blecher, 2010). El método *quasi in situ* consiste en cinco pasos:

- (1) estudio y análisis de la distribución de la especie;
- (2) muestreo de poblaciones de acuerdo con un diseño de estructura ecológica espacial;
- (3) plantación en sitios apropiados (por ejemplo, en sitios con hábitat natural o seminatural y en medio ambiente similar) y mantener las colecciones;
- (4) estudio de las características históricas de la vida y los efectos bióticos y abióticos en la demografía de la población; y
- (5) reintroducción (o traslado) de plantas, preferentemente utilizando semillas de colecciones vivientes y el monitoreo del éxito de su reintroducción.

La conservación de especies en riesgo se justifica principalmente por los beneficios directos e indirectos que se obtienen de estos, como biorrecursos, los servicios que prestan los ecosistemas donde se habitan, los valores estéticos, por lo que las acciones de la silvicultura deben estar dirigidas al mantenimiento de la variabilidad genética y los procesos evolutivos en sus poblaciones de modo tal que se asegure su permanencia (Frankham, 2010). Para el manejo de las especies en riesgo es necesario conocer la



estructura genética de la especie para disminuir al mínimo las probabilidades de extinción, la identificación de poblaciones, definición de unidades de manejo dentro de especies, identificando poblaciones y sitios para reintroducción, empleando los análisis genéticos.

El método *ex situ* implica el movimiento fuera del área natural y lleva consigo la creación de áreas con un escaso número de individuos y donde la garantía de la dinámica poblacional no es tomada en cuenta. Se realiza a través del desplazamiento de semillas o colecciones *ex situ*, los bancos de clones y/o de germoplasma y el tejido almacenado en medios de cultivo ejemplifican la viabilidad para muchas especies de plantas con problemas de propagación (Amaral *et al.*, 2004).

**PRIMER ARTÍCULO**

MORFOLOGÍA, CALIDAD DE SEMILLAS Y PLÁNTULAS DE *Yucca endlichiana*  
E IMPLICACIONES EN SU CONSERVACIÓN

## Morfología, calidad de semillas y plántulas de *Yucca endlichiana* e implicaciones en su conservación

### Morfology, seed and seedlings quality of *Yucca endlichiana* and implications in its conservation

Ana Bertha Meza-Cota<sup>1</sup>✉,  
J. Jesús Vargas-Hernández<sup>2</sup>✉,  
Marío Ernesto Vázquez-Badillo<sup>1</sup>✉,  
José Ángel Villarreal-  
Quintanilla<sup>1</sup>✉,  
Ricardo López-Aguillón<sup>3</sup>✉,  
Celestino Flores-López<sup>1\*</sup>✉

<sup>1</sup>Programa Doctoral en Recursos Filogenéticos para Zonas Áridas, Departamento de Fitorremediación, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Carretera Antonio Narro 1923, Buenavista. CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Postgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo. CP. 56230, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional Km 145 Linares. CP. 67700. Nuevo León, México.

\*Autor de correspondencia:  
cele64@gmail.com

#### Artículo científico

Recibido: 01 de febrero 2021

Aceptado: 09 de febrero 2022

Como citar: Meza-Cota AB, Vargas-Hernández JJ, Vázquez-Badillo ME, Villarreal-Quintanilla JA, López-Aguillón R, Flores-López C (2022) Morfología, calidad de semillas y plántulas de *Yucca endlichiana* e implicaciones en su conservación. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(1): e2834. DOI: 10.19136/era.a9n1.2834

**RESUMEN.** La *Yucca endlichiana* Trel. es una especie microendémica en el estado de Coahuila y en estatus de protección especial. El objetivo fue conocer la variabilidad morfológica, calidad de semilla y de plántula de *Y. endlichiana* para proponer acciones de conservación. Se colectaron cápsulas en más de 30 plantas seleccionadas en las localidades El Dorado, San Antonio del Jaral y Las Coloradas. A las que se les evaluaron ocho variables morfológicas, siete de calidad de semilla, y una en plántula. El análisis de varianza diferenció morfológicamente a la semilla de El Dorado en el peso de 100 semillas, grosor de semilla y testa. En las pruebas de sanidad en PDA (agar de papa y dextrosa) y MSA (agar manitol salado), las localidades presentaron incidencia de los hongos *Aspergillus niger* (61.11% PDA y 66.66% MSA) y *A. flavus* (50.00% PDA y 50.00% MSA). No hay diferencias significativas entre las localidades para viabilidad de semillas, germinación de plántulas normales y anormales, vigor de germinación y calidad de plántula. Los valores óptimos en calidad de semilla y plántulas de *Y. endlichiana* facilitarán la conservación *in situ* y *ex situ* en el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal y el manejo de semillas en bancos de germoplasma, valorando la selección de individuos en la conservación a corto y largo plazo. **Palabras clave:** Germinación, hongos fitopatógenos, índice de Dickson, valor de germinación, viabilidad.

**ABSTRACT.** *Yucca endlichiana* Trel. is a microendemic species in the state of Coahuila and under special protection status. The objective was to of the study was to know the morphological variability, seed and seedling quality of *Y. endlichiana* to propose conservation actions. Capsules were collected in more than 30 selected plants in the localities of El Dorado, San Antonio del Jaral and Las Coloradas. To which eight morphological variables were evaluated, seven of seed quality, and one in seedling. The analysis of variance morphologically differentiated the El Dorado seed in the weight of 100 seeds, thickness of the seed and seed coat. In the sanity tests on PDA (potato dextrose agar) and MSA (mannitol salt agar), the localities showed incidence of the fungi *Aspergillus niger* (61.11% PDA and 66.66% MSA) and *A. flavus* (50.00% PDA and 50.00% %MSA). There are no significant differences between locations for seed viability, normal and abnormal seedling germination, germination vigor and seedling quality. The optimal values in seed quality and seedlings of *Y. endlichiana* will facilitate *in situ* and *ex situ* conservation in the establishment of forest germplasm production units and seed management in germplasm banks, valuing the selection of individuals in short- and long-term conservation.

**Key words:** Germination, phytopathogenic fungi, Dickson quality index, germination value, viability.

Título corto: Calidad de semillas de *Yucca endlichiana*

**MORFOLOGÍA, CALIDAD DE SEMILLAS Y PLÁNTULAS DE *Yucca endlichiana*  
E IMPLICACIONES EN SU CONSERVACIÓN**

**MORFOLOGY, SEED AND SEEDLINGS QUALITY OF *Yucca endlichiana*  
AND IMPLICATIONS IN ITS CONSERVATION**

Ana Bertha Meza-Cota<sup>1</sup>, J. Jesús Vargas-Hernández<sup>2</sup>, Mario Ernesto Vázquez-Badillo<sup>1</sup>, José Ángel Villarreal-Quintanilla<sup>1</sup>, Ricardo López-Aguillón<sup>3</sup>, Celestino Flores-López<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa Doctoral en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas, Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México. <sup>2</sup>Postgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo, Texcoco, C.P. 56230, México. <sup>5</sup>Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145 Linares, Nuevo León, C.P. 67700, México.

\*Autor de correspondencia: [cele64@gmail.com](mailto:cele64@gmail.com)

**RESUMEN.** La *Yucca endlichiana* Trel. es una especie microendémica en el estado de Coahuila y en estatus de protección especial. El objetivo fue conocer la variabilidad morfológica, calidad de semilla y de plántula de *Y. endlichiana* para proponer acciones de conservación. Se colectaron cápsulas en más de 30 plantas seleccionadas en las localidades El Dorado, San Antonio del Jaral y Las Coloradas. A las que se les evaluaron ocho variables morfológicas, siete de calidad de semilla, y una en plántula. El análisis de varianza diferenció morfológicamente a la semilla de El Dorado en el peso de 100 semillas, grosor de semilla y testa. En las pruebas de sanidad en PDA (agar de papa y dextrosa) y MSA (agar manitol salado), las localidades presentaron incidencia de los hongos *Aspergillus niger* (61.11% PDA y 66.66% MSA) y *A. flavus* (50.00% PDA y 50.00% MSA). No hay diferencias significativas entre las localidades para viabilidad de semillas, germinación de plántulas normales y anormales, vigor de germinación y calidad de plántula. Los valores óptimos en calidad de semilla y plántulas de *Y. endlichiana* facilitarán la conservación *in situ* y *ex situ* en el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal y el manejo de semillas en bancos de germoplasma, valorando la selección de individuos en la conservación a corto y largo plazo. **Palabras clave:** Germinación, hongos fitopatógenos, índice de Dickson, valor de germinación, viabilidad.

**ABSTRACT.** *Yucca endlichiana* Trel. is a microendemic species in the state of Coahuila and under special protection status. The objective was to of the study was to know the morphological variability, seed and seedling quality of *Y. endlichiana* to propose conservation actions. Capsules were collected in more than 30 selected plants in the localities of El Dorado, San Antonio del Jaral and Las Coloradas. To which eight morphological variables were evaluated, seven of seed quality, and one in seedling. The analysis of variance morphologically differentiated the El Dorado seed in the weight of 100 seeds, thickness of the seed and seed coat. In the sanity tests on PDA (potato dextrose agar) and MSA (mannitol salt agar), the localities showed incidence of the fungi *Aspergillus niger* (61.11% PDA and 66.66% MSA) and *A. flavus* (50.00% PDA and 50.00% MSA). There are no significant differences between locations for seed viability, normal and abnormal seedling germination, germination vigor and seedling quality. The optimal values in seed quality and seedlings of *Y. endlichiana* will facilitate *in situ* and *ex situ* conservation in the establishment of forest germplasm production units and seed management in germplasm banks, valuing the selection of individuals in short- and long-term conservation.

**Key words:** Germination, phytopathogenic fungi, Dickson quality index, germination value, viability.

## INTRODUCCIÓN

En México hay 29 especies de *Yucca*, de las cuales 11 se encuentran en el estado de Coahuila, dentro de las que *Y. endlichiana*, es la única endémica (Villaseñor 2016). Esta especie tiene características distintivas del resto de las especies de *Yucca*, es una planta acaulescente, que carece de tallo aparente, por lo que se confunde de manera frecuente con *Agave lechuguilla* (Matuda y Piña 1980). Es una especie de distribución microendémica, ya que su área de distribución se encuentra reducida a una porción del estado de Coahuila (García-Mendoza 2003). Su hábitat son lomas de pendiente suave, suelo arenoso con substrato rocoso, y altitudes alrededor de 1 200 msnm (Matuda y Piña 1980).

A causa de su distribución limitada y a la fragmentación del hábitat, esta especie se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, sujeta a protección especial (SEMARNAT 2010). El impacto de la fragmentación de hábitats afecta la viabilidad reproductiva y va depender de los polinizadores para extender el rango de dispersión del polen entre las poblaciones remanentes y no afectar el rendimiento reproductivo (Delnevo *et al.* 2021). En este sentido, el género *Yucca* depende de polinización entomófila, que a veces es una polilla específica (*Pronuba yuccasella*) o bien la polilla puede polinizar varias especies de *Yucca* para llevar a cabo su ciclo biológico; por lo que la ausencia de esta polilla puede limitar la producción de semillas, además de que se desconocen los polinizadores de *Y. endlichiana* (Althoff *et al.* 2004).

Por las razones antes mencionadas, es necesario establecer acciones de conservación, donde se conozcan los protocolos de germinación y propagación (Maschinski *et al.* 2019). Para poder realizar la conservación *in situ*, considerando el mantenimiento continuo de las poblaciones dentro del medio ambiente donde fue originado y con lo cual se asume que tiene adaptación (Loo 2011). Para la conservación *Y. endlichiana* es esencial conocer la morfología de la semilla, la germinación, así como la presencia de patógenos que influyen en la calidad de la semilla (Rueda-Sánchez *et al.* 2012, Suárez Montealegre *et al.* 2014); además, que la calidad de la plántula producida asegure la sobrevivencia y desarrollo de la planta en campo (Sáenz-Reyes *et al.* 2014). Por lo anterior, el objetivo fue conocer la variabilidad morfológica, calidad de semilla y de plántula de *Y. endlichiana* para proponer acciones de conservación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de áreas de colecta de semilla

La colecta de las cápsulas de *Y. endlichiana* se realizó de acuerdo con la autorización de licencia de colecta científica otorgado por la Dirección de Vida Silvestre (oficio número SGPA/DGVS/004758/18) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dos de las localidades de colecta se encuentran en el municipio General Cepeda: El Dorado a 1 149 msnm y San Antonio del Jaral a 1 151 msnm, y la tercera localidad en el municipio de Ramos Arizpe: Ejido Las Coloradas con 1 206 msnm. Las tres localidades están asociadas al matorral xerófilo micrófilo, y presentan un clima tipo BSohw: árido, semi-cálido, temperaturas entre 18 y 22° C, con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual (INIFAP-CONABIO 1995).

Por medio de muestreo selectivo se eligieron plantas con presencia de cápsulas, considerando una separación mínima de 50 m entre plantas, para reducir la posibilidad de parentesco (Schreuder *et al.* 2004). Cada planta se identificó en campo y georreferenció con un GPS Garmin, las cápsulas se conservaron en bolsas de papel estraza, previamente identificadas. Las plantas muestreadas en el Ejido Las Coloradas fueron 55 de las cuales se colectaron entre 2 y 18 cápsulas por planta, en el Ejido El Dorado 41 plantas y se colectaron entre 2 y 10 cápsulas por planta; mientras que en el Ejido San Antonio del Jaral se muestrearon 32 plantas y colectaron entre 2 y 9 cápsulas por planta. Las cápsulas obtenidas se dejaron secar a temperatura ambiente por 15 días.

### **Morfología de las semillas**

El análisis de variables morfológicas se realizó en 100 semillas seleccionadas por localidad, considerando cinco repeticiones de 20 semillas cada una (Hidalgo 2003, ISTA 2018), obteniendo al menos una semilla al azar de cada planta. Las mediciones de las semillas se realizaron por rayos X, utilizando el equipo Faxitron X-Ray Model MX-20, a una potencia de 31Kv y tiempo promedio de 12.6 segundos. Las variables evaluadas fueron: largo (LE) y ancho de embrión (AE), largo (LS) y ancho de semilla (AS), y grosor de testa (GT) (Figura 1). Para el grosor de las semillas (GS) se tomó una muestra al azar de 50 semillas por localidad y se midieron con un vernier digital ( $\pm 0.01$  mm), el peso de 100 semillas (P100S) se obtuvo al pesar semillas de cada planta colectada en una balanza con precisión de 0.01 g (Romero-Saritama y Pérez-Ruiz 2016, ISTA 2018). El color de la semilla se determinó en 50 semillas de cada localidad utilizando la tabla de colores de suelo de Munsell (2009) de acuerdo con Romero-Saritama y Pérez-Ruiz (2016).

### **Identificación de hongos fitopatógenos en semillas**

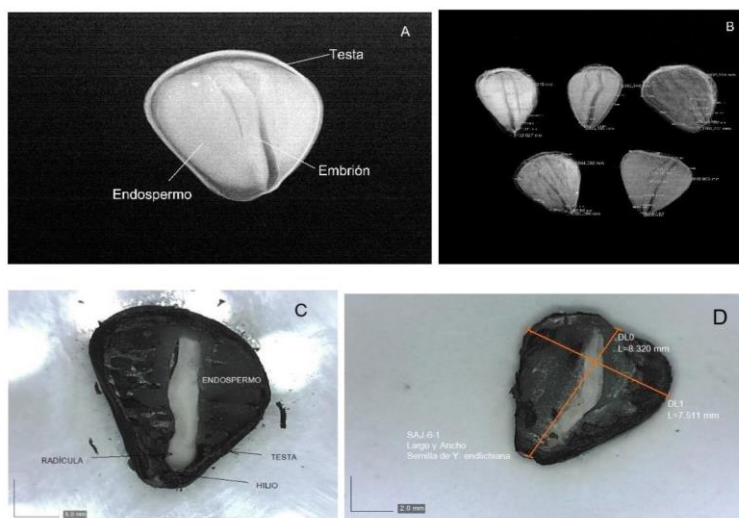
La identificación de hongos fitopatógenos presentes se realizó en 10 semillas, que se tomaron de forma aleatoria de las cápsulas colectadas en cada localidad. Los medios de cultivo utilizados fueron agar dextrosa papa (PDA) para microorganismos provenientes de campo (Tapia y Amaro 2014, Alvarenga *et al.* 2016) y en Agar Manitol Salado (MSA) para microorganismos desarrollados en almacén (Ochoa *et al.* 2015). Las colonias de hongos se clasificaron de acuerdo con sus características de crecimiento: color, textura, uniformidad, estructuras visualizadas en microscopio, de acuerdo con las claves de Barnett y Hunter (1998) y Warham *et al.* (1996).

### **Viabilidad**

Se determinó en cinco repeticiones de 10 semillas de cada localidad, por medio de la prueba de tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifeníl tetrazolio) al 0.1%, las semillas se embebieron en la obscuridad por 24 h previo a la tinción con tetrazolio. Posteriormente, se disectaron realizando un corte longitudinal a lo largo del embrión; las secciones a teñir se colocaron en frascos con la solución de tetrazolio, los cuales se cubrieron con papel aluminio y se pusieron en estufa por 18 h a 30 °C. Al terminar el tiempo, se enjuagaron las semillas con agua destilada y observaron los tejidos, para luego de acuerdo con el manual de la ISTA (2018) clasificarlas, y separar semillas viables (tinción completa o a 2/3 del tejido embrionario) y no viables (tejido embrionario no teñido).

## Germinación

Previamente se determinó la concentración del pretratamiento con peróxido de hidrógeno y tiempo de exposición, utilizando una mezcla de semillas de las tres localidades. En esta prueba se aplicaron cuatro pretratamientos germinativos y el testigo, los cuales fueron dos concentraciones de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), con dos tiempos de imbibición, con remojo previo de 12 h en agua destilada, y el testigo sólo se remojó por 12 h. El primer tratamiento fue imbibición en  $H_2O_2$  al 3% por 3 min, el segundo: imbibición en  $H_2O_2$  al 1.5% por 3 min, el tercero: imbibición en  $H_2O_2$  al 3% por 6 min, y el cuarto imbibición en  $H_2O_2$  al 1.5% por 6 min (Wojtyla *et al.* 2016, Fredrick *et al.* 2017). Se utilizaron cuatro repeticiones de 25 semillas para cada pretratamiento y el testigo. Debido a que las concentraciones con peróxido de hidrógeno no presentaron diferencias significativas, para comparar la germinación entre localidades se utilizó el pretratamiento con remojo previo de las semillas en agua destilada por 12 h con la imbibición de las semillas en  $H_2O_2$  al 3% por 6 min, debido a que fue la que presentó menor infestación de estructuras micóticas.



**Figura 1.** Semillas de *Yucca endlichiana* Trel. Expuestas a Rayos X, (A) partes de la semilla, (B) mediciones en la semilla. En microscopio digital, (C) partes de la semilla, (D) mediciones en la semilla.

Para la germinación se consideró el efecto de las localidades, con cuatro repeticiones de 25 semillas por localidad, con la prueba entre papel, poniendo la semilla en papel secante tipo anchor para luego formar los rollos, que se colocaron en bolsas de plástico perforadas y poner en una cámara de germinación a temperatura constante de  $27 \pm 2$  °C. Durante 28 días se realizaron conteos para evaluar plántulas normales y anormales de acuerdo con la clasificación y criterios de Flores *et al.* (2018) e ISTA (2018). Para la estimación del valor de germinación de utilizó la información generada en la germinación con los mismos criterios de evaluación (Czabator 1962, Djavanshir y Pourbeik 1976, Suárez -Montealegre *et al.* 2014, Sánchez-Gómez *et al.* 2018), con las siguientes fórmulas:

$$VG=(GDM)(VM)$$

Donde: VG = Valor de germinación, GDM = Germinación diaria media final y VM = Valor máximo

Valor de Germinación de Djavanshir y Pourbeik:

$$VG=\left(\frac{\sum VGD}{N}\right)\left(\frac{PG}{10}\right)$$

Donde: VG = Valor de germinación, PG = Porcentaje de germinación al final del ensayo, VGD = Velocidad de germinación diaria, que se obtiene dividiendo el porcentaje de germinación acumulado por el número de días transcurridos desde la siembra,  $\sum VGD$  = Total se obtiene sumando todas las cifras de VGD obtenidas en los recuentos diarios, empezando a contar a partir de la fecha de la primera germinación.

### Calidad de plántula

Para determinar el índice de calidad de Dickson (ICD) se utilizó el mismo procedimiento y diseño de la germinación, solo que en la última evaluación correspondiente al día 28 se tomaron las plántulas normales por repetición. A cada plántula se le evaluó la altura total (H) y el diámetro de la base (D) en centímetros. Posteriormente, se obtuvo el peso verde, peso verde de la parte aérea, peso verde radicular y peso verde total en báscula analítica. Después, las plántulas se pasaron a bolsas de papel estraza perforadas, identificando tanto la parte aérea como la parte radicular de cada repetición, las cuales se colocaron en una estufa a 101° C por 48 h, para después pesar en una balanza analítica, para determinar el ICD (Dickson *et al.* 1960, Lin *et al.* 2019):

$$ICD=\frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\left(\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro cuello raíz (mm)}}\right)+\left(\frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}\right)}$$

Para definir las acciones de conservación se consideraron los resultados de calidad de semilla y plántula. Se revisó la normatividad mexicana y en especial la información relacionada con estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* (SEMARNAT 2010, Loo 2011, DOF 2014, SE 2016, DOF 2018).

### Análisis estadístico

Previo a los análisis se realizó una prueba de normalidad de datos de las variables. Para las variables discretas expresadas en porcentaje se utilizó la transformación angular arcoseno y para las contables se utilizó las transformaciones de potencia de Box-Cox (Zar 2010). Para la determinación de los pretratamientos germinativos el ensayo preliminar de germinación, así como en la diferenciación entre localidades para las variables 9.0 (SAS 2002).



## RESULTADOS

### Morfología de semillas

Para las variables longitud de semillas (LS) (6.04 - 6.19 mm), ancho de semillas (AS) (5.36 - 5.54 mm), longitud del embrión (LE) (4.53 - 4.81 mm) y ancho de embrión (AE) (0.61 - 0.63 mm) no se observaron diferencias significativas entre localidades (Tabla 1). Mientras que para las variables peso de 100 semillas (P100S), grosor de la semilla (GS) y testa (GT), se observaron diferencias significativas entre localidades, presentando la localidad El Dorado diferencias estadísticas con respecto a las localidades de Las Coloradas y San Antonio del Jaral, con los menores promedios de peso de 100 semillas (6.23 g), grosor de semillas (1.93 mm) y testa (0.13 mm). Con respecto, al color de la semilla, el color dominante fue N 2.5/2 negro en un 70.00% para la localidad Las Coloradas, 40.00% para El Dorado y 64.00% para San Antonio del Jaral. Mientras que el color N 2/0 negro tuvo la menor presencia con 8.00, 30.00 y 16.00%, respectivamente, y con escasa presencia el N 2.5/0 negro y N3/0 gris muy oscuro que solo se presenta en la localidad El Dorado en un 2.00% para ambos colores.

### Identificación de hongos fitopatógenos en semillas

En las pruebas de sanidad PDA, se observa alta incidencia del hongo *A. niger*, que se presenta en mayor proporción (61.11%) en Las Coloradas y *A. flavus* en San Antonio del Jaral en mayor proporción. Ambos hongos tienen los mayores porcentajes para ambas localidades, sobresaliendo El Dorado con el mayor número de semillas sanas (Tabla 2). Para organismos desarrollados durante el almacenamiento en las pruebas en MSA, El Dorado y San Antonio del Jaral tuvieron mayor presencia de *A. niger* (50.00 y 66.66%, respectivamente); en cambio, la mayor incidencia de *A. flavus* (50.00%) y de semillas sanas (50.00%) se presentó en Las Coloradas.

### Viabilidad, germinación y calidad de plántulas

Para la prueba de tetrazolio no se encontraron diferencias significativas, presentando porcentajes de semillas viables en Las Coloradas, El Dorado y San Antonio del Jaral del 74.00, 76.00 y 76.00% (Tabla 3). De los cinco pretratamientos realizados, ninguno presentó diferencias estadísticas significativas ni en tiempo de remojo ni en concentración de peróxido de hidrógeno (Tabla 4), y para evaluar el ensayo de germinación se utilizó el pretratamiento con remojo de las semillas en agua destilada, para evitar proliferación de hongos en el ensayo, durante 12 horas y concentración de agua oxigenada al 3% por seis minutos, además fue el que presentó menor incidencia de estructuras micóticas. La germinación presentó porcentajes del 79.00 al 83.00% de plantas normales con porcentajes bajos de plántulas anormales entre un 3.00 y 10.00%, sin diferencias significativas entre localidades (Tabla 3). Los valores de germinación obtenidos de Czabator fueron del 33.99 al 44.79, y para Djavanshir y Pourbeik de 26.36 a 32.78, sin diferencias significativas en entre localidades (Tabla 3). El valor del ICD como indicador de calidad de plántula para la localidad Las Coloradas fue de 1.79, (50%).

**Tabla 1.** Comparación de medias de las variables morfológicas de semillas de *Yucca endlichiana* Trel.

Localidad	P100S (g)	LS (mm)	AS (mm)	GS (mm)	LE (mm)	AE (mm)	GT (mm)
Las Coloradas	7.34 ± *0.08 <sup>a</sup>	6.19 ± 0.06 <sup>a</sup>	5.53 ± 0.13 <sup>a</sup>	2.28 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.81 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>a</sup>
El Dorado	6.23 ± 0.09 <sup>b</sup>	6.11 ± 0.07 <sup>a</sup>	5.37 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.93 ± 0.06 <sup>b</sup>	4.53 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.004 <sup>b</sup>
San Antonio del Jaral	7.15 ± 0.16 <sup>a</sup>	6.04 ± 0.07 <sup>a</sup>	5.36 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.28 ± 0.07 <sup>a</sup>	4.60 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>a</sup>

P100S = Peso de cien semillas; LS = Longitud de semilla; AS = Ancho de semilla; GS = Grosor de semillas; LE = Longitud de embrión; AE = Ancho de embrión; GT = Grosor de testa. \*Error estándar. Medias con letras diferentes dentro de la columna indican diferencias significativas (Tukey,  $p < 0.05$ ).

**Tabla 2.** Porcentaje de incidencia en semillas de hongos mediante los análisis sanitarios en PDA (agar de papa y dextrosa) y MSA (agar manitol salado) de *Yucca endlichiana* Trel.

Hongo	Las Coloradas (%)	El Dorado (%)	San Antonio del Jaral (%)
Análisis sanitario en PDA			
<i>Aspergillus flavus</i>	33.33	16.66	50.00
<i>Aspergillus niger</i>	61.11	5.56	38.88
<i>Alternaria</i> sp.	0	5.56	0
<i>Fusarium</i> sp.	5.56	5.56	5.56
Sanas	0	66.66	5.56
Análisis sanitario en MSA			
<i>Aspergillus flavus</i>	50.00	16.65	33.34
<i>Aspergillus niger</i>	0	50.00	66.66
Sanas	50.00	33.35	0

**Tabla 3.** Comparación de medias de las variables viabilidad de semilla, germinación, vigor de germinación y calidad de plántula de *Yucca endlichiana* Trel.

VARIABLES	Las Coloradas	El Dorado	San Antonio del Jaral
Viabilidad %			
Viabiles	74 ± *40 <sup>a</sup>	76 ± 40 <sup>a</sup>	76 ± 8.72 <sup>a</sup>
No viabiles	26 ± 40 <sup>a</sup>	24 ± 40 <sup>a</sup>	24 ± 8.72 <sup>a</sup>
Germinación %			
Plántulas normales	79.00 ± 3.42 <sup>a</sup>	83.00 ± 4.44 <sup>a</sup>	82.00 ± 4.16 <sup>a</sup>
Plántulas anormales	8.00 ± 1.63 <sup>a</sup>	3.00 ± 1.00 <sup>a</sup>	10.00 ± 6.00 <sup>a</sup>
Valor de germinación de Czabator	33.99 ± 6.69 <sup>a</sup>	36.15 ± 2.89 <sup>a</sup>	44.78 ± 4.98 <sup>a</sup>
Valor de germinación de Djavanshir y Pourbeik	26.36 ± 1.17 <sup>a</sup>	32.11 ± 4.93 <sup>a</sup>	32.78 ± 3.99 <sup>a</sup>
Índice de calidad de Dickson	1.79 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.75 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.77 ± 0.34 <sup>a</sup>

\*Error estándar. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas (Tukey,  $p < 0.05$ ).

**Tabla 4.** Valores promedio del porcentaje de germinación de cinco pretratamientos germinativos para semillas de *Yucca endlichiana* Trel.

Pretratamientos germinativos	% de germinación
Testigo	66.67 ± *6.66 <sup>a</sup>
Imbibición en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 3% por 3 min	86.67 ± 3.33 <sup>a</sup>
Imbibición en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 1.5% por 3 min	70.00 ± 15.27 <sup>a</sup>
Imbibición en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 3% por 6 min	73.33 ± 8.81 <sup>a</sup>
Imbibición en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 1.5% por 6 min	76.67 ± 6.66 <sup>a</sup>

Para la aplicación de los pretratamientos, las semillas previamente se remojaron 12 h en agua destilada. \*Error estándar. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $p < 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

### Morfología de semillas

Al comparar el número de semillas por kilogramo de *Y. endlichiana* (13 624 a 16 051 semillas kg<sup>-1</sup>) con otras especies de *Yucca*, los valores son variables los cuales oscilar entre 9 250 semillas kg<sup>-1</sup> para *Y. schidigera*, hasta 50 000 semillas kg<sup>-1</sup> para *Y. brevifolia* (Alexander *et al.* 2008). Por lo que estos valores son útiles como características distintivas de las diferentes especies, en la planeación de la colecta de semillas, el control y el manejo del almacenamiento de semillas (Rao *et al.* 2007). Ya que la selección de semillas con mayor peso, garantiza mayor germinación y calidad de plántula (TrindadeLessa *et al.* 2015, Gelviz-Gelvez *et al.* 2020). Ya que estos valores son útiles como características distintivas de las diferentes especies, en la planeación de la colecta de semillas, el control y el manejo de almacenamiento de semillas, el control y el manejo del almacenamiento de semillas (Rao *et al.* 2007). Ya que la selección de semillas con mayor peso, garantiza mayor germinación y calidad de plántula (TrindadeLessa *et al.* 2015, Gelviz-Gelvez *et al.* 2020). Ya que el tamaño del fruto se relaciona con las características morfológicas de la semilla, particularmente el tamaño repercute en el vigor de la planta y la capacidad de sobrevivencia (Duarte *et al.* 2017). Al respecto, la variación en el tamaño de semilla entre el género *Yucca* es considerable, siendo el tamaño de semilla de *Y. endlichiana* menor que el de *Y. queretaroensis* (Magallán *et al.* 2014), pero es más semejante al tamaño de *Y. linearifolia* (Szabó y Gerzson 2011). En este sentido, los valores del tamaño de la semilla en el género *Yucca* aportan a la descripción de las especies y, por otra parte, la selección del tamaño de la semilla y de la cápsula en este género puede asegurar la calidad de la planta.

Con respecto al color de la semilla, el color negro de la semilla de *Y. endlichiana* es similar a otras especies de *Yucca* (Alexander *et al.* 2008), y no aporta en la diferenciación de las especies, a reserva de que el color de las semillas pudiera ser descrita por el tono, valor y croma de acuerdo con la clasificación de colores de Munsell. Prácticamente, en otros géneros, el color de la semilla ha estado más relacionado con la germinación, colores más oscuros se relacionan con mayor capacidad germinativa (Tenorio-Galindo *et al.* 2008, Hernández-Anguiano *et al.* 2018); para *Y. endlichiana* el color negro de la semilla resultó con porcentajes óptimos de germinación de plántulas normales.

### Identificación de hongos fitopatógenos en semillas

Dentro del concepto de calidad de semilla están las pruebas de sanidad de semillas y es importante identificar los patógenos que se transmiten a través de la semilla durante la colecta (Rao *et al.* 2007). En este sentido, los hongos de campo pueden ocasionar decoloración, semilla vana, óvulos abortados e inclusive transmitirse a plántulas o plantas adultas y se encuentran por lo general bajo la testa, afectando en ocasiones la emergencia de las plántulas en campo como son los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus* y *Rhizoctonia*, en especial el género *Fusarium* ha sido uno de los más incidentes y devastadores (Villa-Martínez *et al.* 2015). Para disminuir la incidencia de estos hongos de campo en *Y. endlichiana*, en la colecta es necesario el monitoreo de la maduración de las cápsulas para evitar menos tiempo de contacto con el suelo.

Con respecto a hongos de almacén como

*Aspergillus* y *Penicillium*, pueden disminuir el porcentaje de germinación, coloración y dañar el embrión, producir cambios bioquímicos y toxinas, además de provocar calentamiento que se traduce en disminución de calidad en la semilla (Doria 2010, Navarro *et al.* 2012, Zakaria *et al.* 2014). Uno de los tratamientos a la semilla para eliminar a estos hongos de almacén durante la germinación es el peróxido de hidrógeno que funciona como desinfectante (Zúñiga -Orozco y Beuregard-Zúñiga 2020). Al respecto, es esencial el análisis de la calidad de semillas para

determinar las condiciones de la semilla al momento de la colecta y definir los tratamientos para la eliminación de hongos durante el almacenamiento, germinación, emergencia y estado de plántula.

### **Viabilidad y germinación**

Se observa que los porcentajes de viabilidad y germinación de *Y. endlichiana* son similares entre localidades y coinciden con lo reportado con varias especies del mismo género (Granados-Sánchez *et al.* 2011, Cambrón-Sandoval *et al.* 2013). Lo que indica que la posibilidad de problemas de latencia en las semillas es baja. Por otra parte, la capacidad de germinación de especies de *Yucca* como *Y. filifera* oscila entre 60 y 90%, para *Y. carnerosana* entre 79 y 81% y de *Y. elata* entre 29 y 63% (Granados -Sánchez *et al.* 2011, Cambrón-Sandoval *et al.* 2013), valores que están entre los valores encontrados para *Y. endlichiana*, aunque se esperaría menor viabilidad y germinación de semillas, debido a que se ha reportado que poblaciones pequeñas y fragmentadas tienen problemas de endogamia (Henríquez 2004, Martínez-Abraín y Oro 2006). Aun cuando no se presentaron diferencias entre las localidades de *Y. endlichiana* con respecto a los valores de germinación de Czabator, así como de Djavanshir y Pourbeik, éstos son indicadores de vigor de germinación (Barone *et al.* 2016, Fontana *et al.* 2016). Por lo que ambos valores se ven influenciados por pretratamientos aplicados a las semillas (Suárez-Monteaigre *et al.* 2014); pero son indicadores de mayor vigor germinativo, mayor actividad durante la germinación y emergencia, así como en el crecimiento de las plántulas, por lo que son importantes en la selección y manejo de plántulas en viveros (Escobar 2012, López y Gil 2017).

### **Calidad de plántula**

El ICD ha sido utilizado como parámetro de calidad de plántula que permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y predecir el comportamiento en campo de plántulas (Aguirre *et al.* 2018), donde los valores mayores o iguales a 0.5 indican que la calidad de la planta es alta, mientras que valores bajos indican calidad baja (Rueda-Sánchez *et al.* 2012, Muñoz-Flores *et al.* 2014, Rueda-Sánchez *et al.* 2014). Por lo que los valores de ICD en *Y. endlichiana* en las tres localidades son altos, lo que indica una calidad de planta adecuada. Es importante señalar que el ICD está correlacionado con las variables morfológicas utilizadas en el índice, donde la variable diámetro a la base es la más correlacionada (Sáenz-Reyes *et al.* 2014, Villalón-Mendoza *et al.* 2016); por lo tanto, la medición de esta variable en vivero es práctica y no destructiva, y puede servir en la selección de plantas en vivero de *Y. endlichiana* con fines de conservación. Para *Y. endlichiana* no se reportan complicaciones en su propagación sexual, además de que tiene alta calidad de planta, condiciones que no son comunes en especies con localidades pequeñas y fragmentadas (Frankham *et al.* 2002), y en estatus de riego, lo que da una ventaja a esta especie para la conservación *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ*, se verá favorecida a corto plazo, con el establecimiento de UPGF, en especial si consideramos cada una de las localidades como rodales semilleros, donde se seleccionen un mínimo de 50 individuos (White *et al.* 2007) de mayor tamaño y producción de cápsulas, con espaciamiento de al menos 10 m entre individuos, de acuerdo con la norma NMX-AA-169SCFI-2016 (SE 2016). Estas UPGF deberán convertirse a la vez en UMA, donde se supervise y monitoree la regeneración natural y vegetativa (Servín *et al.* 2018).

A largo plazo, la conservación *in situ* implica el establecimiento de UPGF de huertos semilleros, como siguiente nivel de mejoramiento y conservación, siempre y cuando se mantenga un apropiado número de familias (Ivetic' *et al.* 2016). Ambas acciones a corto y largo plazo deben estar integradas a un programa dirigido bajo convenios entre instituciones y propietarios de las áreas, con apoyo y supervisión de instituciones del gobierno estatal y federal. Para la conservación *ex situ*, los bancos de germoplasma locales serán necesarios para el manejo y almacenamientos de las semillas de *Y. endlichiana* (Alexander *et al.* 2008), para monitorear y evaluar la viabilidad óptima

de la semilla, asegurando la regeneración a través de plantaciones establecidas en las zonas de movimiento de germoplasma indicadas en la norma NMX-AA-169-SCFI-2016 (Iriondo - Alegría 2001, SE 2016).

### CONCLUSIONES

La variabilidad morfológica en el peso y grosor de semillas y de testa, diferencia las localidades de *Y. endlichiana*. Estas localidades, a pesar que son pequeñas y fragmentadas, presentan porcentajes óptimos de viabilidad, germinación y calidad de plántula, facilitando la propagación por semilla. Por lo tanto, para asegurar la regeneración de la especie, la selección de individuos en el establecimiento rodales y huertos semilleros como UPGF. El manejo y el tratamiento preventivo a las semillas, evita la incidencia de hongos de campo y de almacenamiento, conservando la viabilidad óptima de la semilla en bancos de germoplasma, como medida de conservación *ex situ* a largo plazo.

### AGRADECIMIENTOS

A los Departamentos de Fitomejoramiento y Forestal, así como al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo en el desarrollo de esta investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

### LITERATURA CITADA

- Aguirre SE, Piraneque NV, Barrios N (2018) Análisis del efecto del sustrato sobre la calidad de plántulas en cinco especies forestales adaptadas a Santa Marta Colombia. Revista Espacios 39: 33-39.
- Alexander RR, Pond FW, Rodgers JE (2008) Agavaceae-Century-plant family. *Yucca* L. yucca. In: Bonner FT, Karrfalt RP (Eds.) The woody plant seed manual. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook No. 727. Washington, USA. pp: 1175-1177.
- Althoff DM, Segreaves KA, Sparks JP (2004) Characterizing the interaction between the bogus yucca moth and yuccas: ¿do bogus yucca moths impact yucca reproductive success? Oecologia 140: 321-327.
- Alvarenga AAA, López IP, Abraham CMR, Caballero YMR, Popoff CT, Arrua JMM (2016) Presencia de hongos filamentosos en yerba mate compuesta y eficiencia de medios de cultivo para el aislamiento de *Aspergillus*. Investigación Agraria 18: 49-55.
- Barnett HL, Hunter BB (1998) Illustrated genera of imperfect fungi. The American Phytopathological Society. Minnesota, USA. 200p.
- Barone J, Duarte E, Luna C (2016) Determinación de la eficacia de métodos de evaluación de calidad de semillas de especies forestales nativas de la Selva Atlántica. Quebracho Revista de Ciencias Forestales 24: 70-80.
- Cambrón-Sandoval VH, Malda-Barrera G, Suzán-Azpiri H, Díaz-Salim JF (2013) Comportamiento germinativo de semillas de *Yucca filifera* Chabaud con diferentes periodos de almacenamiento. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 59: 82-88.

- Czabator FJ (1962) Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8: 79-83.
- Delnevo N, Piotti A, Carbognani M, Etten E J van, Stock W D, Field D L, Byrne M (2021) Genetic and ecological consequences of recent habitat fragmentation in a narrow endemic plant species within an urban context. *Biodiversity and Conservation* 30: 3457-3478.
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF (1960) Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36: 10-13.
- Djavanshir, K and Pourbeik, H (1976) Germination value a new formula. *Silvae Genetica* 25:79-83.
- DOF (2014) Reglamento de la ley general de vida silvestre. Última reforma publicada Diario Oficial de la Federación a 9 de mayo de 2014. Cámara de Diputados del H. Congreso de La Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO2008.pdf> Fecha de consulta: 25 de enero de 2021.
- DOF (2018) Ley general de vida silvestre. Última reforma publicada Diario Oficial de la Federación a 19 de enero de 2018. Cámara de Diputados del H. Congreso de La Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios [https://www.senado.gob.mx/comisiones/medio\\_ambiente/docs/LGVS.pdf](https://www.senado.gob.mx/comisiones/medio_ambiente/docs/LGVS.pdf) Fecha de consulta 25 de enero de 2021.
- Doria J (2010) Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31: 74-85.
- Duarte ER, Mangeón V, Küppers G, Rocha P, Niella F (2017) Tamaño y viabilidad de semillas: implicancias en la evolución y conservación de *Phaius tankervilleae* (Orchidaceae). *Caldasia* 39: 388-399.
- Escobar RR (2012) Semillas. En: Contardi LT, Gonda HE, Tolone G, Salimbeni J (Coords.) Producción de plantas en viveros forestales. Colección Nexos. Consejo Federal de Inversiones, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina. pp: 27-38.
- Fredrick C, Omokhua GE, Chinedu WN (2017) Effects of pre-treatment on seed germination of *Trichilia tessmannii* (Harms) in Nigeria. *Nigerian Journal of Agriculture, Food and Environment* 13: 90-93.
- Flores P, Poggi D, García S, Catraro M, Gariglio N (2018) Descripción de patrones normales y anormales de plántulas de *Juglans nigra*. *FAVE - Ciencias Agrarias* 17: 7-21.
- Fontana ML, Pérez VR, Luna CV (2016) Pruebas de envejecimiento acelerado para determinar vigor de semillas de *Prosopis alba* de tres procedencias geográficas. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 15: 1-13.
- Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA (2002) Introduction to conservation genetics. Cambridge University Press. New York, USA. 617p.
- García-Mendoza AJ (2003) Ficha técnica de *Yucca endlichiana*. Revisión de las *Agavaceae* (*sensu stricto*) *Crassulaceae* y *Liliaceae* incluidas en el PROY-NOM-059-ECOL- 2000. Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB CONABIO. Proyecto No. W020. México. 4p.  
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichasnom/Yuccaendlichiana00.pdf>  
Fecha de consulta: 3 de febrero de 2022.

- Gelviz-Gelvez S M, Pavón N P, Flores J, Barragán F, Paz H (2020) Germination of seven species of shrubs in semiarid central Mexico: effect of drought and seed size. *Botanical Sciences* 98: 464-472.
- Granados-Sánchez D, Sánchez-González A, Victorino G, Linnx R, Borja de la Rosa A (2011) Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17:111-130.
- Henríquez CA (2004) Efecto de la fragmentación del hábitat sobre la calidad de las semillas en *Lapageria rose* *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 177-184.
- Hernández-Anguiano LA, López-Upton J, Ramírez-Herrera C, Romero-Manzanares A (2018) Variación en germinación y vigor de semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis*. *Agrociencia* 52: 1161-1178.
- Hidalgo R (2003) Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: Franco TL, Hidalgo R (eds.) Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico no. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 89p.
- INIFAP-CONABIO (1995) Carta de climas. Escala 1:50,000 - 1:20,000. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis>. Fecha de consulta: 29 de enero de 2021.
- Iriondo-Alegría JM (2001) Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). *Investigación Agraria Producción y Protección Vegetal* 16: 5-24.
- ISTA (2018) International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* 21: 77-288.
- Ivetic V, Devetaković J, Nonić M, Stanković D, Šijačić-Nikolić M (2016) Genetic diversity and forest reproductive material - from seed source selection to planting. *Forest* 9: 801-812.
- Lin K-H, Wu C-W, Chang YS (2019) Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata*. *Notulae Botanicae HortoAgrobotanici Cluj-Napoca* 47:169-176.
- Loo JA (2011) Manual de genética de la conservación. Principios aplicados de genética para la conservación de la biodiversidad. SEMARNAT, CONAFOR. México. 192p.
- López-Medina SE, Gil-Rivero AE (2017) Efecto del acondicionamiento osmótico en la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Feuillee ex Molina) Kuntze (*Fabaceae*) "taya". *Arnaldia* 24: 333-342.
- Magallán-Hernández F, Maruri-Aguilar B, Sánchez-Martínez E, Hernández-Sandoval L, Luna-Zúñiga J, RobledoMejía M (2014) Consideraciones taxonómicas de *Yucca queretaroensis* Piña (*Agavaceae*), una especie endémica del Semidesierto Queretano-Hidalguense. *Acta Botánica Mexicana* 108: 51-6.
- Martínez-Abraín A, Oro D (2006) Pequeñas poblaciones, grandes problemas. *Quercus* 45: 13-13.
- Maschinski J, Albrecht M A, Fant J, Monks L, Haskins K E (2019) Rare plant reintroduction and other conservation translocations. In: CPC Best Plant Conservation Practices (ed.) CPC Best plant conservation practices to support species survival in the wild. Center for Plant Conservation. Escondido, CA, USA. pp: 4-32.
- Matuda E, Piña I (1980) Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Colección miscelánea del Estado de México. Editorial Libros de México. Toluca, Edo. de México. 145p.

- Munsell color (2009). Munsell<sup>®</sup> Soil-color charts. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation. Baltimore, Maryland, USA. 69p.
- Muñoz-Flores HJ, Sáenz-Reyes JT, Coria-Avalos VM, García-Magaña JJ, Hernández-Ramos J, Manzanilla Quijada GE (2014) Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6: 72-89.
- Navarro M, Febles G, Torres V (2012) Bases conceptuales para la estimación del vigor de las semillas a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial. *Pastos y Forrajes* 35: 233-246.
- Ochoa Y, Chavarri M, Mazzani C, Rumbos N (2015) Determinación de la capacidad fumonigénica de aislados de *Aspergillus niger* provenientes de diferentes sustratos. *Revista de la Facultad de Agronomía* 41: 109-115.
- Rao NK, Hanson J, Dulloo ME, Ghosh K, Novell D, Larinde M (2007) Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. *Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8*. Bioversity International. Roma, Italia. 165p.
- Romero-Saritama JM, Pérez-Ruiz C (2016) Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación *ex situ* de especies leñosas en los bosques secos tumbesinos. *Ecosistemas* 25: 59-65.
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio JD, Prieto-Ruiz JA, Sáenz-Reyez JT, Orozco-Gutiérrez G, Molina-Castañeda A (2012) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3: 69-82.
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio JD, Saénz-Reyez J T, Muñoz-Flores H J, Prieto-Ruiz J Á, Orozco-Gutiérrez G (2014) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 58-73.
- Sáenz-Reyes J, Muñoz-Flores HJ, Pérez DCMA, Ángel CM, Rueda-Sánchez A, Hernández-Ramos J (2014) Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 98-111.
- Sánchez-Gómez, A, Rosendo-Ponce A, Vargas-Romero JM, Rosales-Martínez F, Platas-Rosado DE, Becerril Pérez CM (2018) Energía germinativa en guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) con diferentes métodos de escarificación de la semilla. *Agrociencia* 52: 863-874.
- SAS (2002) SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 9.0. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 378p.
- SE (2016) Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana: Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal especificaciones técnicas. NMX-AA-169-SCFI-2016. Diario Oficial de la Federación. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5455455&fecha=03/10/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455455&fecha=03/10/2016) Fecha de consulta: 30 de enero de 2021.
- SEMARNAT (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda sección. 77 p. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010>. Fecha de consulta: 30 de enero 2021.



- Servín JD, Carreón-González E, Castro-Campos F, Huerta-García A, Garza M (2018) Las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) en el noroeste de México: análisis de 10 años. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Ciudad de México. 123p.
- Schreuder HT, Ernst R, Ramírez-Maldonado H (2004) Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-126. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. USA. 111p.
- Suárez-Montealegre SD, González-Rivas B, Mendoza-Sánchez O G (2014) Energía y valor de germinación en las especies arbóreas genízaro (*Phitecellobium saman* (Jacq.) Benth.) y guanacaste negro (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.). La Calera 14: 28-32.
- Szabó K and Gerzson L (2011) Evaluation of the Winter-hardy *Yucca* taxa among extreme conditions in landscape applications. Agriculture and Environment Supplement, First International Conference horticulture and landscape architecture in Transylvania. Cluj-Napoca, Romania. Acta Universitatis Sapientiae 3: 122-131.
- Tapia C, Amaro J (2014) Género *Fusarium*. Revista Chilena de Infectología 31: 85-86.
- Tenorio-Galindo G, Rodríguez-Trejo DA, López-Ríos G (2008) Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). Agrociencia 42: 585-593.
- Trindade-Lessa B F da, Nobre-de Almeida J P, Lobo-Pinheiro C, Melo-Gomes F, Medeiros-Filho S (2015) Germinación y crecimiento de plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* en función del peso de la semilla y las condiciones de temperatura y luz. Agrociencia 49: 315-327.
- Villalón-Mendoza H, Ramos-Reyes JC, Vega-López JA, Marino B, Muños-Palomino MA, y F. Garza-Ocañas F (2016) Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 12: 46-52.
- Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales HA, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra JM, Martínez-Escudero E (2015) Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad anti fúngica de extractos vegetales. Acta Agronómica 64: 194-205.
- Villaseñor JL (2016) Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 87: 559-902.
- Warham EJ, Butler LD, Sutton BC (1996) Ensayos para la semilla de maíz y de trigo. Manual de laboratorio. CIMMYT. México. 84p.
- White TL, Adams WT, Neale DB (2007) Forest genetics. CAB International. Cambridge, MA, USA. 682p.
- Wojtyła Ł, Lechowska K, Kubala S, Garnczarska M (2016) Different modes of hydrogen peroxide action during seed germination. Frontiers in Plant Science 7: 66. DOI: 10.3389/fpls.2016.00066.
- Zakaria L, Soh W, Teh L (2014) Diversity of fungi isolated from vegetable seeds. Malaysian Journal of Microbiology 10: 155-160.
- Zar JH (2010) Bio statistical analysis. Fifth ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey, USA. 944p.
- Zúñiga-Orozco A, Beauregard-Zúñiga I (2020) Evaluación de tres productos desinfectantes sobre semillas científicas de maíz y cebada para la producción en la tecnología de forraje verde hidropónico. Repertorio Científico 23: 63-75.

## **SEGUNDO ARTÍCULO**

Distribución geográfica potencial de *Yucca endlichiana* Trel. en Coahuila e implicaciones en el muestreo y conservación

**Distribución geográfica potencial de *Yucca endlichiana* Trel. en Coahuila e implicaciones en el muestreo y conservación**

**Potential Geographic distribution of *Yucca endlichiana* Trel. in Coahuila and implications on sampling and conservation**

Ana Bertha Meza-Cota <sup>1</sup>

Adrián Hernández-Ramos <sup>2</sup>

Celestino Flores-López <sup>1,3\*</sup>

J. Jesús Vargas-Hernández<sup>4</sup>

José Ángel Villarreal-Quintanilla <sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento, Doctorado en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315, México. +52 (844) 529 5586. [ameza0657@gmail.com](mailto:ameza0657@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-4615-1966>), <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Saltillo, Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 # 9515, Hacienda de Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila. +52 (595) 102 4102. [adrian.hernandezr90@gmail.com](mailto:adrian.hernandezr90@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-4058-1316>), <sup>3</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315, México. +52 (844) 667 5355. [cele64@gmail.com](mailto:cele64@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-7111-2566>), <sup>4</sup>Postgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo, Texcoco, 56230, México. +52 (595) 114 9020.

[vargashj@colpos.mx](mailto:vargashj@colpos.mx) (<https://orcid.org/0000-0001-7422-4953>), <sup>5</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Departamento de Botánica, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315, México. +52 (844) 218 5222.

[javillarreal00@hotmail.com](mailto:javillarreal00@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-9672-8693>)

\*Corresponding autor: [cele64@gmail.com](mailto:cele64@gmail.com); tel.: +52 (844) 667 5355.

## **Distribución geográfica potencial de *Yucca endlichiana* Trel. en Coahuila e implicaciones en el muestreo y conservación**

### **Potential Geographic distribution of *Yucca endlichiana* Trel. in Coahuila and implications on sampling and conservation**

#### **Resumen**

**Introducción:** *Yucca endlichiana* Trel, especie en estatus de riesgo y microendémica de Coahuila, sus poblaciones conocidas son pequeñas y escasas, se requiere información de su distribución y los factores ecológicos para establecer estrategias para su conservación.

**Objetivo:** Determinar la distribución geográfica potencial de *Yucca endlichiana* Trel., considerando la inclusión de dos poblaciones nuevas e implicaciones en su conservación.

**Materiales y métodos:** Se utilizó muestreo de escrutinio alrededor de la Sierra La Paila para localizar las tres poblaciones citadas en escrito y dos poblaciones nuevas encontradas por muestreo de bola de nieve. Se modeló la distribución

potencial con el programa MaxEnt, utilizando 19 variables bioclimáticas predictoras para dos grupos de poblaciones.

**Resultados y Discusión:** Los valores de AUC muestran que los valores de precisión del modelo son excelentes para ambos grupos de poblaciones. La variable que aumenta la precisión del modelo en ambos grupos de poblaciones es la precipitación del periodo más lluvioso (Bio13).

**Conclusión:** La modelación de la distribución potencial de los grupos de poblaciones se ve afectada principalmente cuando se omiten las variables precipitación del cuatrimestre más seco y por la precipitación del periodo más lluvioso. El estudio contribuye a la zonificación en el movimiento de germoplasma forestal y estrategias de conservación *in situ*.

**Palabras clave:** poblaciones pequeñas, MaxEnt, variables predictoras, zonificación.

## **Introducción**

En zonas áridas y semiáridas de México una de las familias más abundantes es la Agavaceae; el 75% de las especies de esta familia se encuentran distribuidas en México, correspondiente a 217 especies reconocidas (García-Mendoza y Galván, 1995), entre las que destacan las del género *Yucca*, llegando hacer especies dominantes; que protegen contra la erosión del suelo, favoreciendo al mismo tiempo la retención del agua y el incremento del contenido orgánico, y muchas de las cuales son utilizadas como ornamentales debido a su rusticidad (tolerantes a sequías y cambios bruscos de temperatura); de algunas especies

se consumen las flores, semillas, tallos o frutos en cocina típica artesanal (Matuda y Piña, 1980).

En especial el género *Yucca* cuenta con un total de 49 especies de las cuales 29 se encuentran en México (Rocha *et al.*, 2006) destacando la serie *Baccatae*, donde se incluyen las especies *Yucca endlichiana* Trel. *Y. baccata*, *Y. grandiflora*, *Y. arizonica*.

En especial, *Y. endlichiana* es una especie microendémica de Coahuila, conocida comúnmente como pitilla o izote, su área de distribución está restringida a una superficie de 30 000 km<sup>2</sup>; escasa, crece en manchones (García-Mendoza, 2003). Sin embargo, esta especie presenta varios factores de riesgo, principalmente su endemismo, así como la fragmentación del hábitat por cambios en la vegetación, extracción ilegal de plantas y semillas con fines ornamentales y comerciales (Martinell *et al.*, 2011).

Por todo lo anterior, *Y. endlichiana* se encuentra dentro de la Norm-059-SEMARNAT-2010, clasificada como Pr (Protección especial), y al ser una planta acaulescente de una altura media aproximada de 50 cm (Matuda y Piña, 1980; SEMARNAT, 2010), es de difícil identificar, ya que se mezcla con matorral rosetófilo y se confunde con lechuguilla, sin embargo, los campesinos la reconocen como pitilla o izote; no hay en la actualidad programas de conservación relacionados con la especie, por parte de instituciones del gobierno o privadas, por lo tanto en la planificación de la conservación de estas especies es prioritaria (García-Mendoza, 2003; IUCN – SSC Species Conservation Planning Sub-Committee, 2017).

Se conocen pocas poblaciones de esta especie concentradas alrededor de la Sierra La Paila en Ramos Arizpe, Coahuila (Matuda y Piña. 1980; García-Mendoza, 2003), por lo tanto, se requiere entonces conocer la posibilidad de la presencia de más poblaciones, el número de individuos, el lugar y las razones de su distribución para poder establecer estrategias para su conservación (Schreuder *et al.*, 2004; Maciel-Mata *et al.* 2015). Debido a que estas poblaciones son pequeñas, las técnicas de muestreo empleadas tradicionalmente son costosas, en este sentido se utilizan técnicas de muestreo no paramétricas, como el muestreo por escrutinio, muestreo multiplicado, muestreo adaptable, de marcos múltiples, bola de nieve y secuencial (Schreuder *et al.*, 2004; Bidak *et al.*, 2015), de esta forma la localización de nuevas poblaciones es relativamente más económica y fácil de encontrarlas (Rahayu *et al.*, 2017; Kirchherr y Charles, 2018). Estas técnicas de muestreo se pueden asociar combinar con modelos para estimar distribución de especies, así como áreas potenciales y conocer como las variables ambientales influyen en la distribución de las especies (Benito *et al.*, 2009).

La integración de información geográfica de la presencia en campo de la especie en mapas de distribución geográfica, actualmente es común en la determinación de áreas potenciales de varias especies y condiciones geográficas (Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez, 2014; Hernández *et al.*, 2016; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016).

Esta herramienta es útil en particular para especies de poblaciones pequeñas y en estatus de riesgo para planear acciones de conservación como plantaciones *in situ* y *ex situ*, como rodales semilleros, huertos semilleros o simplemente

plantaciones para restauración genética de las poblaciones delimitando zonas de movimiento de germoplasma bajo condiciones ecológicas favorables de la especie (Secretaría de Economía, 2016; Hernández *et al.*, 2018; Ye *et al.*, 2021). Actualmente, para el desarrollo de estos mapas de distribución geográfica potencial, uno de los principales modelos de nicho ecológico empleados es el de máxima entropía (MaxEnt) (Buendía-Espinoza *et al.*, 2020; Navarro-Guzmán *et al.*, 2020). Sin embargo, estos mapas de distribución pueden ser cambiantes si cada vez que se elaboran se va integrando nueva información geográfica, sobre todo si se trata de especies en riesgo, con la integración de nuevas poblaciones con diferente adaptación climática y topográfica, o la consideración en el cambio diferentes escenarios climáticos (Xu *et al.*, 2021; Ye *et al.*, 2021). En este sentido, en el estudio se contrastan dos distribuciones geográficas potenciales con poblaciones conocidas y con poblaciones adicionales nuevas, considerando que las técnicas de muestreo para poblaciones pequeñas y raras es una herramienta adicional.

En este estudio el objetivo fue estimar la distribución geográfica potencial actual de *Yucca endlichiana*, así como las diferencias a la inclusión de dos nuevas poblaciones, así como las implicaciones en su conservación.

## **Materiales y métodos**

### **Descripción de poblaciones conocidas y poblaciones nuevas**

Las poblaciones identificadas de *Y. endlichiana* a través de información escrita (García-Mendoza, 2003) y de recorridos en áreas de condiciones ecológicas similares a través de un muestreo no paramétrico de escrutinio (Schreuder *et al.*, 2004), principalmente alrededor en la planicie de Sierra La Paila. De esta manera



se identificaron en los meses de junio a septiembre de 2016, tres poblaciones: dos de General Cepeda (El Dorado y San Antonio del Jaral) y una en el Ejido Las Coloradas en Ramos Arizpe, todos en el estado de Coahuila (Cuadro 1).

Las nuevas poblaciones de *Y. endlichiana* se encontraron a través de un muestreo no paramétrico de bola de nieve (Schreuder *et al.*, 2004; Kirchherr y Charles, 2018) que consistió en solicitar a los técnicos de servicios forestales que trabajan en inventarios de las zonas áridas de Coahuila en los estudios técnicos de avisos de aprovechamiento no maderables, que indicaran las coordenadas de la presencia de *Y. endlichiana* en las diferentes propiedades evaluadas, que a la vez, dichos prestadores preguntaban a las personas de las propiedades por esta *Yucca* conocida como “pitilla”.

Para las tres poblaciones conocidas (Cuadro 1) se realizó un muestreo sistemático con respecto a un punto aleatorio y se levantaron 40 parcelas de muestreo de 250 m<sup>2</sup>, para cada sitio se revisó la presencia de al menos una planta de *Y. endlichiana*, se obtuvieron las coordenadas de cada punto con presencia de la planta. Para la población del Dorado fueron 18 puntos con presencia, para San Antonio del Jaral 13 y Las Coloradas 11.

En las nuevas poblaciones de *Y. endlichiana* la base de datos se obtuvo levantando las coordenadas a lo largo y ancho del rodal de la presencia de plantas con un receptor GPS Garmin, los puntos obtenidos fueron 63 para la población de Ejido Cuates de Australia y para la población del Ejido Tanque de San Vicente 20 puntos (Cuadro 1).

## **Modelado de distribución potencial para poblaciones conocidas y nuevas poblaciones**

Con la información de los sitios con presencia de la planta y utilizando el programa MaxEnt versión 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2021), se modeló la distribución potencial para la especie en el Estado de Coahuila. Las variables predictoras utilizadas fueron 19 bioclimáticas (Cuadro 2) utilizando datos de WorldClim (<https://www.worldclim.org>) utilizando las variables de climáticas BIOCLIM (Fick y Hijmans, 2017). Las capas de formato vectorial de puntos de presencia fueron generadas a partir de los datos georreferenciados de las poblaciones muestreadas y las capas de división estatal y municipal se obtuvieron de INEGI (2021).

A través de MaxEnt se generó la curva ROC/AUC (acrónimos por sus siglas en inglés, Curva Operada por el Receptor/ Área Bajo la Curva) para cada modelo, la curva evalúa la capacidad predictiva de los modelos de distribución generados por medio de un gráfico, indicando el área bajo la curva; también se obtuvo la prueba de Jackknife con el fin de estimar cuáles son las variables más importantes en el modelo (Fielding y Bell, 1997; Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez, 2014). En el programa MaxEnt se obtuvieron las capas Gradient File de distribución potencial, en base a los datos de campo de las poblaciones conocidas y la incorporación de las nuevas poblaciones.

## **Resultados y Discusión**

### **Modelado de distribución potencial para poblaciones conocidas y la adición de dos nuevas poblaciones**

Para las poblaciones conocidas, la curva operada por el receptor (ROC) para los datos de entrenamiento y los de prueba, se muestran en la Figura 1, valores de AUC de 0.999 para datos de entrenamiento y 0.998 para datos de prueba, muestra que el modelo es adecuado para predecir las presencias contenidas en los datos de las tres poblaciones conocidas. Además, que la línea de prueba (azul) está encima y en el extremo superior izquierdo de la línea de predicción aleatoria (negra). Esta condición ha sido similar en otros estudios para diversas especies mostrando que el modelo es adecuado (Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez, 2014; Hernández-Ruíz *et al.*, 2016; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016).

En modelado de las poblaciones conocidas más las poblaciones nuevas se puede observar que los valores de AUC (curva ROC) son de 0.998 para los datos de entrenamiento y de 0.996 para los datos de prueba (Figura 2), mostrando que los valores de precisión del modelo son excelentes de acuerdo a la clasificación adaptada de Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez (2014).

Los resultados de la prueba Jackknife muestran que la variable que aumenta la ganancia en el modelo cuando se usan de forma individual para el modelo basado en poblaciones conocidas y las dos poblaciones nuevas es la precipitación del periodo más lluvioso (Bio13). Por otra parte, las variables que disminuyen la ganancia en el modelo cuando son omitidas, para el caso de poblaciones conocidas es la precipitación del cuatrimestre más seco (Bio17) y cuando se

añaden las poblaciones nuevas es la precipitación del periodo más lluvioso (Bio13).

Para las 19 variables bioclimáticas que fueron utilizadas como predictoras para el modelo basado en poblaciones conocidas (Cuadro 3), las variables más importantes fueron la precipitación del periodo más lluvioso (43.5%), la estacionalidad de la temperatura (27.5%), precipitación del cuatrimestre más seco (12.7%) y la oscilación diurna de la temperatura (10.1%). Para el modelo basado en las poblaciones conocidas y las nuevas poblaciones, las variables que más contribuyen (Cuadro 3) fueron la precipitación del periodo más lluvioso (51.5%), la estacionalidad de la temperatura (17.1%), la oscilación diurna de la temperatura (11.3%) y la precipitación del periodo más seco (17.2%).

En el modelado basado en poblaciones conocidas (Figura 3), se puede observar que el zona de mayor probabilidad (0.75-1) de la presencia de *Y. endlichiana* para el estado de Coahuila está restringida al sureste y noreste de la Sierra La Paila, comprendiendo los municipios de General Cepeda y Ramos Arizpe. Una segunda área con probabilidad de 0.5 a 0.75 es más amplia y prácticamente se encuentra alrededor de la Sierra La Paila con mayor superficie en el municipio de Ramos Arizpe y General Cepeda, con superficies menores en los Municipios de Cuatro Ciénegas y Parras de la Fuente. Las áreas con menor probabilidad de 0.05 a 0.5 de presencia de la especie, se presenta alrededor de la Sierra de La Paila y extendiéndose al noreste principalmente en los municipios Castaños y Cuatro Ciénegas y municipios aledaños como Monclova, Frontera, Sacramento, La Madrid y Nadadores; fragmentándose al norte en los municipios de Ocampo, Acuña, Musquiz y Zaragoza, al noroeste entre el municipio de Abasolo y

Escobedo, y al sureste en los municipios Parras, Viesca y Torreón. Cabe señalar que las áreas con menor probabilidad de la presencia de *Y. endlichiana*, también tiene presencia al oeste con el estado de Nuevo León en los municipios de Mina y García, al sureste con el estado de Zacatecas en los municipios de Melchor Ocampo y Mazapil, y al norte, con el estado de Texas, Estados Unidos Americanos.

Para el modelado basado en poblaciones conocidas y las poblaciones nuevas (Figura 4), aumenta la superficie de mayor probabilidad (0.75-1) de la presencia de *Y. endlichiana*, presentando dos áreas separadas para el estado de Coahuila, la primera con mayor superficie principalmente del noroeste al sureste de la Sierra La Paila, comprendiendo los municipios de General Cepeda y Ramos Arizpe; la segunda en la parte central del municipio de Cuatro Ciénegas colindando con el municipio de San Pedro. El área correspondiente a la probabilidad de 0.5 a 0.75 se extiende alrededor de estas áreas de mayor probabilidad, fragmentándose las áreas al noroeste y sureste del municipio de Parras de la Fuente, al noroeste de San Pedro y al oeste de Viesca. Las áreas con menor probabilidad (0.05 a 0.5) se amplían más en el municipio de Parras, San Pedro, Ocampo, Acuña y Zaragoza.

### **Implicaciones en el muestreo y conservación**

Actualmente *Y. endlichiana* justifica su conservación ya que se encuentra clasificada en estatus de riesgo como Pr (Protección especial), sin embargo, considerando que la superficie actual de la distribución geográfica de la especie está limitada a 90.1 ha (Cuadro 1) y no es igual o mayor a 100 ha (1km<sup>2</sup>), esta especie deberá considerarse en peligro de extinción (P), de acuerdo al anexo

normativo II de la Norm-059-SEMARNAT-2010 correspondiente al método de método de evaluación del riesgo de extinción de plantas en México (SEMARNAT, 2010).

El muestreo por escrutinio y bola de nieve eficientaron la rectificación de poblaciones actuales y la localización de dos nuevas poblaciones, esta última técnica también ha sido utilizada para encontrar especies raras (Rahayu *et al.*, 2017) así como en la búsqueda de plantas medicinales (Anywar *et al.*, 2016). En este sentido el modelaje de áreas con mayor probabilidad de presencia de *Y. endlichiana* aumentó; bajo este escenario la distribución geográfica potencial es relativa con la adición de nuevas poblaciones presentando cambios sustanciales en área y delimitando el rango de adaptación de la especie.

Este rango de adaptación es importante que se defina y las condiciones climáticas y topográficas en donde se desarrolla (Cuadro 1), lo cual es útil para planear una zonificación de semillas provisionales o zonas de movimiento de germoplasma forestal (ZMGF) que garantice la adaptación y el mejor crecimiento de la especie (Aparicio-Rentería *et al.*, 2020) y además apoya a definir de forma particular para la especie para las zonas de movimiento de germoplasma establecidas en la norma NMX-AA-169-SCFI-2016 para el establecimiento de Unidades productoras de Germoplasma Forestal (UPGF) (Secretaría de Economía, 2016), en especial la clasificación de la unidad biogeográfica y la zona de movimiento de germoplasma correspondiente y la definición del rango altitudinal.

En este sentido, de acuerdo a la modelación de áreas geográficas potenciales incluidas las dos poblaciones, las ZMGF donde se puede establecer la especie

comprende dos, V.1 y V.2, considerando las plantaciones de reforestación, debe establecerse en la misma zona de origen y dentro de un intervalo altitudinal no mayor de 300 m hacia arriba y 150 m hacia abajo, con referencia a la altitud que tiene el origen del germoplasma (Secretaría de Economía, 2016). Sin embargo, en estas zonas deberá considerarse las características de altitud y tipo de suelo en que la especie se desarrolla (Cuadro 1).

Esto implicaría que en la ZMGF V.1 correspondiente a los municipios de Cuatro Ciénegas y San Pedro, donde se consideran estrategias de mejoramiento genética a corto plazo como es el establecimiento de un rodal semillero con más de 50 individuos maduros y producción de semillas que garantice la semilla para reforestaciones, y a largo plazo un huerto semillero sexual y uno clonal considerando al menos 20 familias o 20 clones respectivamente (Secretaría de Economía, 2016). En la ZMGF V.2 correspondiente a los municipios de General Cepeda y Ramos Arizpe, se consideraría al menos tres rodales semilleros uno en cada población con combinación de semillas para reforestaciones futuras en el área y un huerto semillero sexual. En ambas ZMGF las UPGF a establecerse deberán operar como unidades de manejo para la conservación de vida silvestre (UMA), considerando que en estas se obtendrá semillas para futuras plantaciones, bajo un aprovechamiento sustentable (Presidencia de la República, 2014 y 2021).

Por otra parte, el Cañón de Hipólito debe considerarse como una nueva región prioritaria terrestre (RPT), por los endemismos presentes y en estatus de riesgo, incluyendo la presencia de *Y. endlichiana*, como la RPT-79 Sierra La Paila (Arriaga *et al.*, 2000). Además, que cada población de *Y. endlichiana* se

constituya como área destinada voluntariamente a la conservación (ADVC), considerando que los beneficios de la certificación de las ADVC en los predios favorecerían a la especie (<https://advc.conanp.gob.mx/infografia-beneficios-de-certificar/>).

### **Conclusiones**

Los muestreos no paramétricos son útiles para la búsqueda de nuevas poblaciones de *Y. endlichiana*. La modelación de la distribución potencial de los grupos de poblaciones se ven afectadas principalmente cuando se omiten las variables precipitación del cuatrimestre más seco y por la precipitación del periodo más lluvioso. La distribución geográfica potencial contribuye a la zonificación de movimiento de germoplasma forestal y a planear estrategias de conservación como son la implementación de unidades productoras de germoplasma forestal-unidades de manejo para la conservación de vida silvestre, así como áreas destinadas voluntariamente a la conservación.

### **Agradecimientos**

A los Departamentos de Fitomejoramiento y Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo en el desarrollo de esta investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

### **Referencias**

Anywar, G., Van't Klooster, Ch. I. E. A., Byamukama, R., Willcox, M., Nalumansi, J. De Jong, P. A., Rwaburindori, P. & Kiremire, B. T. (2016). Medicinal Plants Used in the Treatment and Prevention of Malaria in Cegere Sub-



- County, Northern Uganda. *Ethnobotany Research & Applications* 14:505-516.
- Aparicio-Rentería, A., Viveros-Viveros, H., Hernández-Villa, J., Sáenz-Romero, C. Ruiz-Montiel, C. & Pineda-Posadas, J. A. (2020). Zonificación altitudinal de *Pinus patula* a partir de conos y semillas en la sierra de Huayacocotla, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 26 (2): e2621962. doi: 10.21829/myb.2020.2621962.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, E. (coordinadores). (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Escala de trabajo 1:1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Benito, B.M., Martínez-Ortega, M. M., Muñoz, L. M., Lorite, J. & Peñas, J. (2009). Assessing extinction-risk of endangered plants using species distribution models; a case study of habitat depletion caused by the spread of greenhouses. *Biodiversity Conservation*, 18: 2509-2520.
- Bidak, L. M., Kamala, S. A., Halmyb, M. W. A. & Heneidy, S. A. (2015). Goods and services provided by native plants in desert ecosystems: Examples from the northwestern coastal desert of Egypt. *Global Ecology and Conservation* 3: 433-447.
- Buendía-Espinoza, J. C., Díaz-Aguilar, I., Cahuich-Damián, J. E. Morales-García, A., Martínez-Hernández, P. A. & Zamora-Elizalde, M. C. (2020). Análisis de adaptabilidad de *Leucaena collinsii* en la microcuenca Tula, México. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* 11(6): 1233-1245.

- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J. T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F., & López-Sandoval, J. A. (2016). Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(2), 135-148. doi: 10.5154/r.rchscfa.2015.06.027
- Fick, S.E. & R.J. Hijmans. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental Conservation* 24(1): 38-49.
- García-Mendoza, A. & Galván V. R. (1995). Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56:7-24
- García-Mendoza, A.J. (2003). *Yucca endlichiana*. *Revisión de las Agavaceae (sensu stricto), Crassulaceae y Liliaceae incluidas en el PROY-NOM-059-ECOL-2000*. Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W020, México, D.F. pp. 1-4.
- Hernández R., J., Reynoso S., R., Hernández R., A., García C. X., Hernández M., E. J, Vidal Cob Uicab, J. V. & Sumano L., D. (2018). Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta Botánica Mexicana*, 124:117-134.

- Hernández-Ruiz, J., Herrera-Cabrera, B. E., Delgado-Alvarado, A., Salazar-Rojas, V. M., Bustamante-González, Á., Campos-Contreras, J. E. & Ramírez-Juárez, J. (2016). Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista Biología Tropical* 64 (1): 235-246.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1972). *Carta edafológica. Presa el Tulillo, Escala 1:50000, G14C22*. Edición: 1A. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825664220>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1976). *Carta edafológica. Tanque Nuevo, Escala 1:50000, G13B69*. Edición: 1A. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825662523>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1977). *Carta edafológica. Las Coloradas, Escala 1:50000, G14A22*. Edición: 1A. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825663995>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1981a). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Aguas superficiales. Escala 1:250 000. Serie I. Monclova G14-4*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825683788>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1981b). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Aguas superficiales. Escala 1:250 000. Serie I. Tlahualilo G13-7*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825683719>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1984). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Aguas superficiales. Escala 1:250 000. Serie I.*

Monterrey G14-7. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825237417>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001a). *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. (Continuo Nacional). Provincias fisiográficas. Escala 1:1 000 000*. Serie 1 Edición: 1A Aguascalientes, Ags. México. INEGI <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001b). *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. (Continuo Nacional). Sistema topoformas. Escala 1:1 000 000*. Serie 1. Edición: 1A Aguascalientes, Ags. México. INEGI <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267582>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001c). *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. (Continuo Nacional). Subprovincias fisiográficas. Escala 1:1 000 000*. Serie 1. Edición: 1A Aguascalientes, Ags. México. INEGI <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267599>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). *Conjunto de datos vectoriales. Unidades climáticas. Escala 1:100 000*. Edición: 1A. Aguascalientes, Ags. México. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación (Conjunto Nacional)*. Escala 1:250 000. Serie VII. Edición: 1ª. Aguascalientes, Ags. México. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *División política estatal, 1:250000*. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1987). *Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales G1407, Escala 1:25000*. Serie 1, Edición: 1A. Aguascalientes, Ags., México. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825675356>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1989). *Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales G1404, Escala 1:25000*. Serie 1, Edición: 1A. Aguascalientes, Ags., México. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825675325>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1998). *Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales G1306, Escala 1:25000*. Serie 1, Edición: 1A. Aguascalientes, Ags., México. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825675240>
- IUCN – SSC Species Conservation Planning Sub-Committee. (2017). *Guidelines for Species Conservation Planning. Version 1.0*. Gland, Switzerland: IUCN. xiv + 114 pp.
- Kirchherr J. & Charles K. (2018). Enhancing the sample diversity of snowball samples: Recommendations from a research project on anti- dam movements in Southeast Asia. *PLOS ONE* 13 (8): e0201710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201710>

- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P. & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19. doi: 10.15174/ au.2015.690
- Martinell A., M. C., Massó, S., López-Pujol, J., Bosch D., M. & Blanché, C. (2011). *Silene sennenii*, un endemisme empordanès en perill d'extinció. *Annals de l'Institut d'Estudis Empordanesos*, 42: 193-203.
- Matuda, E. & Piña, I. (1980). *Las plantas mexicanas del género Yucca*. Colección miscelánea del Estado de México. Editorial Libros de México, S. A. de C. V. Toluca, Edo. de México. 145 p.
- Navarro-Guzmán, M. A., Jove-Chipana, C. A. & Apaza, J. M. (2020). Modelamiento de nichos ecológicos de flora amenazada para escenarios de cambio climático en el departamento de Tacna – Perú. *Colombia Forestal*, 23(1): 78-101.
- Palma-Ordaz, S. & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences* 92 (4): 587-597.
- Phillips, S. J., Dudík, M. & Schapire, R. E. (2021). [Internet] *Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)* Available from url: [https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 2021-11-7.
- Presidencia de la República. (2014). *Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre*, *Diario Oficial de la Federación, México, 09-05-2014*, consultado en [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGVS.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGVS.pdf)

- Presidencia de la República. (2021). *Ley General de Vida Silvestre*, *Diario Oficial de la Federación*, México, 20-05-2021, consultado en [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146\\_200521.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf)
- Rahayu, E.S., Martin, P., Dewi, N. K. & F. H. Kurniawan, F. H. (2017). *Cordia dichotoma G. Forst.: Bioecology and population density*. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 824 (2017) 012059 doi:10.1088/1742-6596/824/1/012059
- Rocha, M., Good-Avila, S. V., Molina-Freaner, F., Hector T., Arita, A., Castillo, A., García-Mendoza, A., Silva-Montellano, A., Gaut, B. S., Souza, V. & Eguiarte, L. E. (2006). Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso* 22: 329–344.
- Schreuder, H. T., Ernst, R. & H. Ramírez-Maldonado. (2004). Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources. USDA, Forest Service. Rocky Mountain Research Station. *General Technical Report RMRS-GTR-126*. Fort Collins, CO. 111 p.
- Secretaría de Economía. (2016). *Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana: Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal especificaciones técnicas*. NMX-AA-169-SCFI-2016. *Diario Oficial de la Federación*. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5455455&fecha=03/10/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455455&fecha=03/10/2016) Fecha de consulta 28 de noviembre de 2021.
- SEMARNAT. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión,*

*exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación. Segunda sección. 77 p. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059semarnat-2010>. Fecha de consulta 21 noviembre de 2021.

Sistema Meteorológico Nacional (SMN). (2022). *Información Climatológica. Red de Estaciones Meteorológicas*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Xu, W.; Jin, J. & Cheng, J. (2021). Predicting the potential geographic distribution and habitat suitability of two economic forest trees on the Loess Plateau, China. *Forests*, 12, 747. <https://doi.org/10.3390/f12060747>

Ye, P.; Zhang, G.; Zhao, X.; Chen, H.; Si, Q., & Wu, J. (2021). Potential geographical distribution and environmental explanations of rare and endangered plant species through combined modeling: A case study of Northwest Yunnan, China. *Ecology and Evolution*, 11, 13052–13067. <https://doi.org/10.1002/ece3.7999>



Cuadro 1. Localización y descripción física y de la vegetación poblaciones de *Yucca endlichiana* Trel. en Coahuila.

Descripción	El Dorado, General Cepeda	San Antonio del Jaral, General Cepeda	Ejido Tanque de San Vicente, General Cepeda	Las Coloradas, Ramos Arizpe	Cuates de Australia, Cuatro Ciénegas de Carranza
Coordenadas	25°39'41.3" 101°33'11.3"	25°37'28.8" 101°26'12.0"	25°38'02.1" 101°28'57.0"	26°11'48.1" 101°37'42.9"	26°31'44.7" 102°09'42.1"
Superficie (ha)	10.0	21.0	1.2	20.5	37.4
Fisiografía †	Sierras y llanuras del norte. Laguna de Mayrán. Llanura desértica de piso rocoso o cemento y salino	Sierras y llanuras del norte. Laguna de Mayrán. Llanura desértica inundable y salina	Sierras y llanuras del norte. Laguna de Mayrán. Llanura desértica inundable y salina	Sierra Madre Oriental. Sierra de la paila. Llanura aluvial	Sierra Madre Oriental. Sierra de la paila. Llanura desértica salina
Geología <sup>¶</sup>	Q(al). Aluvial. Cenozoico, Cuaternario	Q(cg). Sedimentaria. Conglomerado. Cenozoico. Cuaternario	Q(al) Aluvial. Cenozoico. Cuaternario		Ki(cz). Sedimentaria. Caliza. Mesozoica. Cretácico inferior.
Hidrología superficial <sup>§</sup>	Coefficiente de escurrimiento de 0 a 5%. Bravo Conchos. RH24. Cuenca R. Bravo-San Juan, Subcuenca R. San Miguel.	Coefficiente de escurrimiento de 0 a 5%. Bravo Conchos. RH24. Cuenca R. Bravo-San Juan. Subcuenca R. San Miguel.	Coefficiente de escurrimiento de 0 a 5%. Bravo Conchos. RH24, Cuenca R. Bravo-San Juan, Subcuenca R.	Coefficiente de escurrimiento de 0 a 10%. Mapimí, RH35. Cuenca Valle el Hundido. Subcuenca El Hundido.	Coefficiente de escurrimiento de 5 a 10%. Mapimí. RH35. Cuenca Valle el Hundido. Subcuenca El Hundido.
Edafología <sup>²</sup>	Xk/2a: Xerosol Cálxico, textura media, terreno plano ligeramente		Xn-Ls-n/2a: Xerosol Háplico,	Xh/2: Xerosol Háplico, con textura media	Yh-ms/2: Yermosol háplico, suelo moderadamente salino (8

Descripción	El Dorado, General Cepeda	San Antonio del Jaral, General Cepeda	Ejido Tanque de San Vicente, General Cepeda	Las Coloradas, Ramos Arizpe	Cuates de Australia, Cuatro Ciénegas de Carranza
	ondulado con pendiente menor a 8%.		suelo sódico con más de 15% de saturación de sodio con conductividad de 4 a 8 mmhos/cm, plano ligeramente ondulado con pendiente	con fase física petrocálcica, sin fase química.	a 16mmhos/ cm a 25°C) con textura media.
Clima <sup>††</sup>	BW <sub>hw</sub> (x'): Muy seco semicálido			BS0 <sub>hx'</sub> : Seco semicálido	BW <sub>hw</sub> : Muy seco semicálido
Vegetación <sup>†††</sup>	Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	Matorral desértico rosetófilo	Matorral desértico micrófilo	Pastizal inducido	Matorral desértico micrófilo
Pendientes	0-5%	0-5%	0-5%		0-10%
Exposición más frecuente	Este	Noroeste	Noroeste		Sureste
Temperatura media anual <sup>§§</sup>	20.4 °C			20.0 °C	20.9°C
Precipitación anual <sup>§§</sup>	164.1 mm			318.1 mm	165.3 mm

† INEGI (2001a, b, c). †† INEGI (1987, 1989, 1998). § INEGI (1981a, 1981b, 1984). † INEGI (1972, 1976, 1977). †† INEGI (2008). ††† INEGI (2018). §§SMN (2022).

Cuadro 2. Variables bioclimáticas utilizadas por el programa MaxEnt para generar los mapas de distribución potencial de *Yucca endlichiana* en Coahuila.

Código	Descripción de variable	Unidades*
Bio1	Temperatura promedio anual	° C
Bio2	Oscilación diurna de la temperatura	° C
Bio3	Isotermalidad	Adimensionales
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	CV
Bio5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido	° C
Bio6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío	° C
Bio7	Oscilación anual de la temperatura	° C
Bio8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	° C
Bio9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	° C
Bio10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	° C
Bio11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	° C
Bio12	Precipitación anual	mm
Bio13	Precipitación del periodo más lluvioso	mm
Bio14	Precipitación del periodo más seco	mm
Bio15	Estacionalidad de la precipitación	CV
Bio16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	mm
Bio17	Precipitación del cuatrimestre más seco	mm
Bio18	Precipitación del cuatrimestre más cálido	mm
Bio19	Precipitación del cuatrimestre más frío	mm

\*°C= grados centígrados, CV= coeficiente de variación, m= metros, mm= milímetros.

Cuadro 3. Porcentajes de contribución de las variables bioclimáticas en los modelos Maxent para *Yucca endlichiana* para poblaciones conocidas y para las nuevas poblaciones.

Variable	Poblaciones conocidas	Poblaciones conocidas más poblaciones nuevas
Precipitación del periodo más lluvioso (Bio 13)	43.5	51.5
Estacionalidad de la temperatura (Bio 4)	27.5	17.1
Precipitación del cuatrimestre más seco (Bio 17)	12.7	1.7
Oscilación diurna de la temperatura (Bio 2)	10.1	11.3
Precipitación del periodo más seco Bio 14)	3.7	17.2
Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (Bio 8)	0.8	0.3
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (Bio 6)	0.6	–
Temperatura promedio anual (Bio 1)	0.3	–
Precipitación del cuatrimestre más cálido (Bio 18)	0.3	–
Estacionalidad de la precipitación (Bio 15)	0.2	–
Oscilación anual de la temperatura (Bio 7)	0.1	0.3
Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (Bio 9)	0.1	–
Isotermalidad (Bio 3)	–	0.6

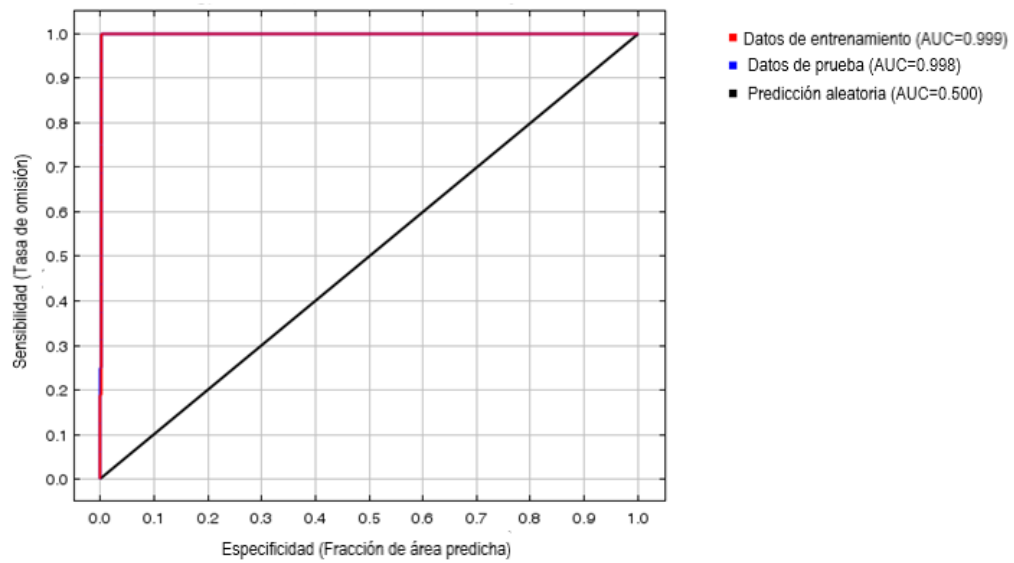


Figura 1. Sensibilidad y especificidad para los modelos de poblaciones conocidas de *Yucca endlichiana* en Coahuila.

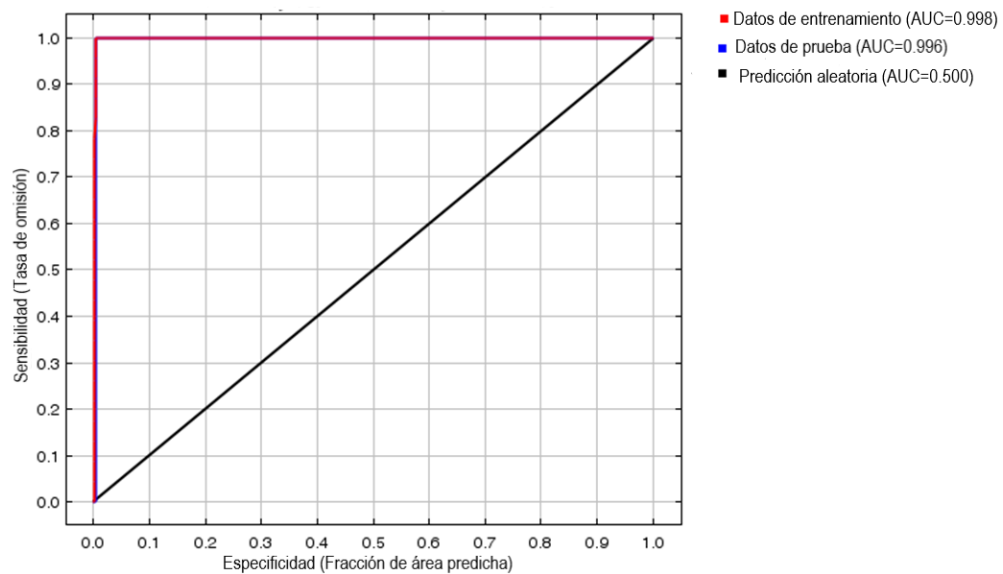


Figura 2. Sensibilidad y especificidad para los modelos de poblaciones conocidas más las poblaciones nuevas de *Yucca endlichiana* en Coahuila.

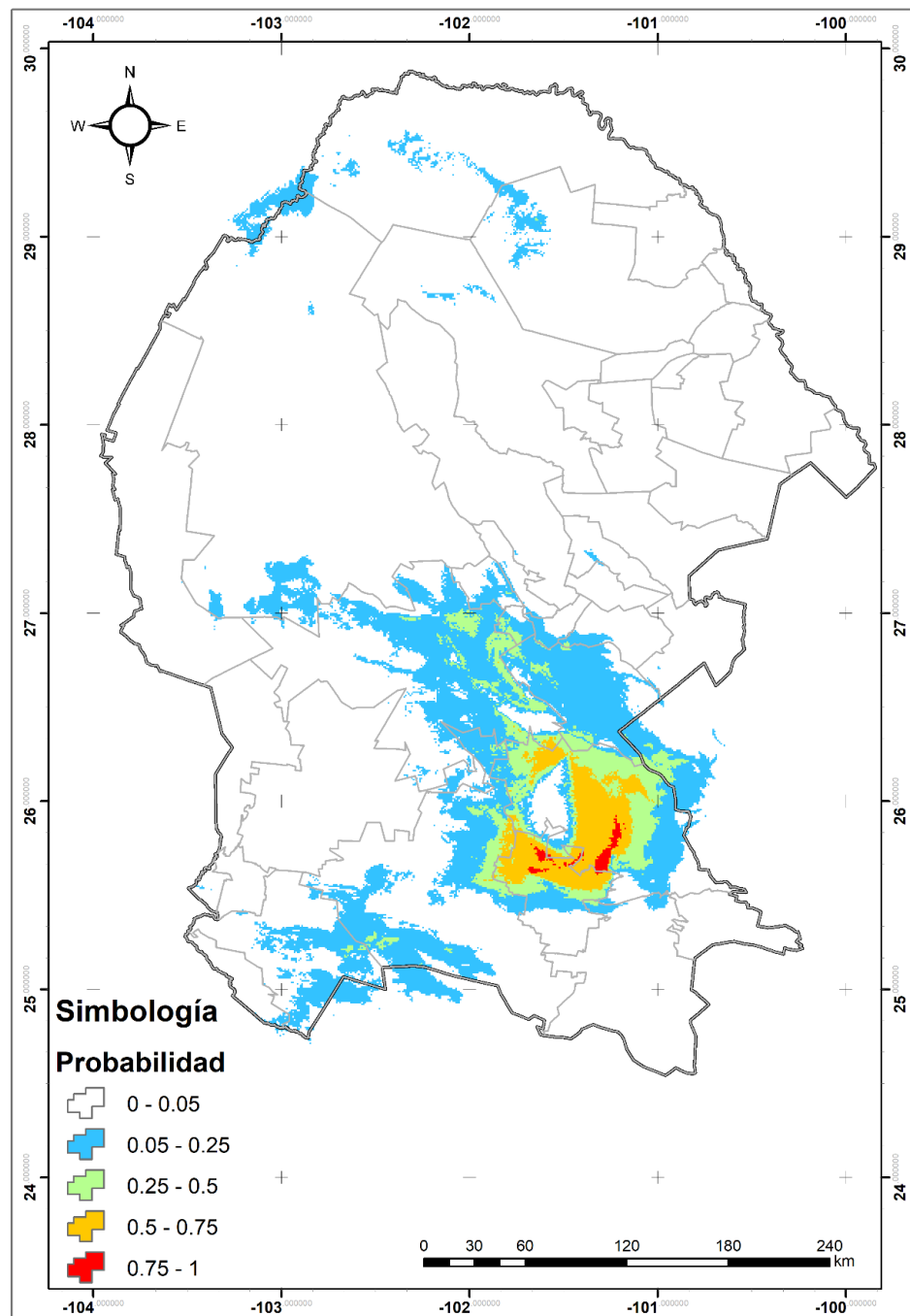


Figura 3. Distribución potencial de *Yucca endlichiana* Trel., en el noreste de México, considerando las tres poblaciones conocidas. La distribución de color blanco a rojo muestra la probabilidad en aumento de la calidad del hábitat de la especie.

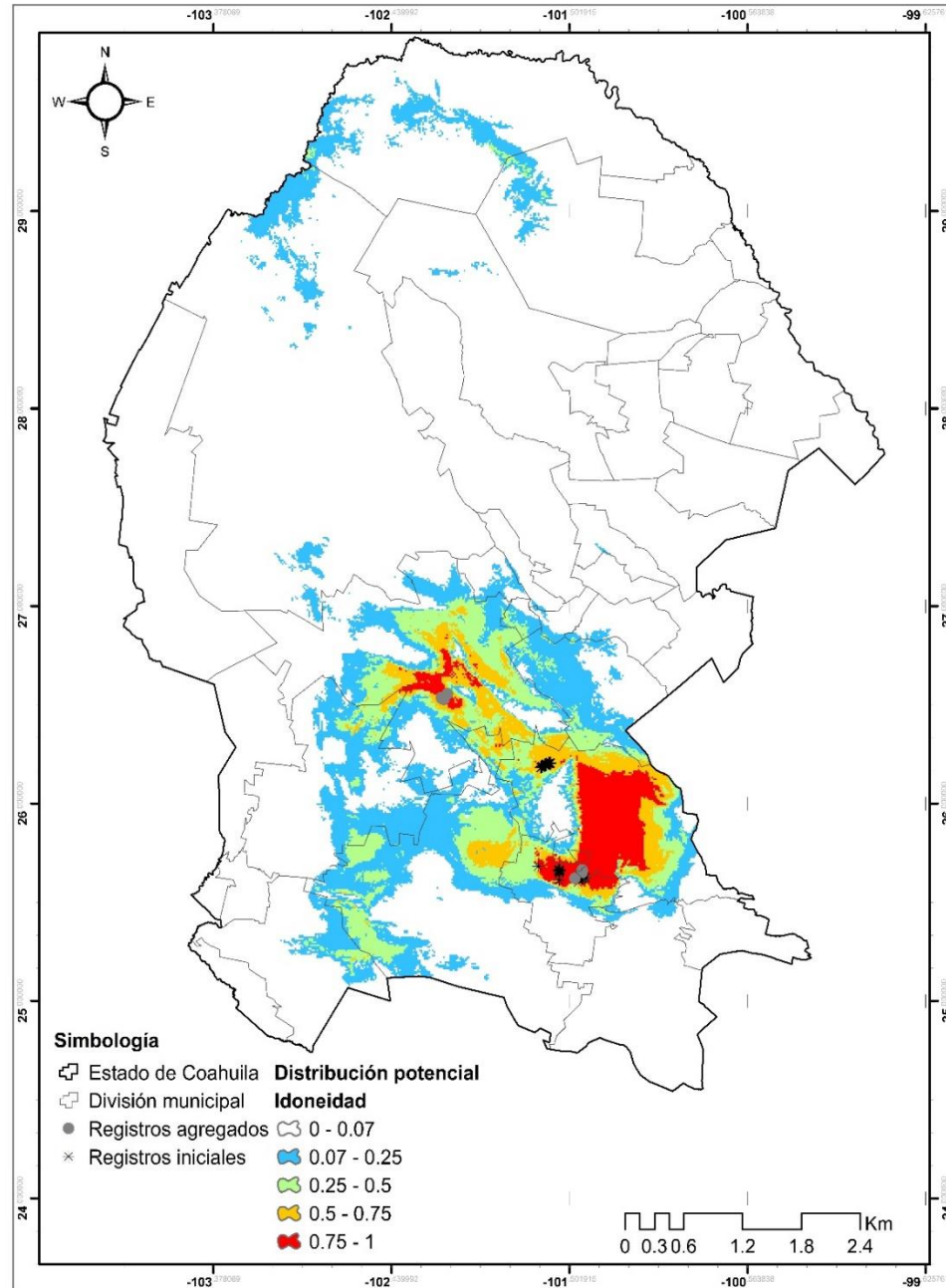


Figura 4. Distribución potencial de *Yucca endlichiana* Trel., en el noreste de México, considerando las tres poblaciones conocidas como registros iniciales y las poblaciones nuevas como registros agregados. La distribución de color blanco a rojo muestra la probabilidad en aumento de la calidad del hábitat de la especie.

## CONCLUSIONES GENERALES

La modelación de la distribución geográfica potencial de los grupos de poblaciones se ven afectadas principalmente cuando se omiten las variables precipitación del cuatrimestre más seco y por la precipitación del periodo más lluvioso, contribuyendo así a la zonificación de movimiento de germoplasma forestal.

La variabilidad morfológica en el peso y grosor de semillas y de testa, diferencia las localidades de *Y. endlichiana*; estas localidades, a pesar de que son pequeñas y fragmentadas, presentan porcentajes óptimos de viabilidad, germinación y calidad de plántula, facilitándose la propagación por semilla.

Considerando que la superficie actual de la distribución geografía de la especie es pequeña, la especie deberá considerarse en peligro de extinción, en este sentido, las estrategias de conservación *in situ* son la implementación de unidades productoras de germoplasma forestal y unidades de manejo para la conservación de vida silvestre, así como áreas destinadas voluntariamente a la conservación y el almacenamiento de semillas en bancos de germoplasma es una medida de conservación *ex situ* a largo plazo.



## REFERENCIAS

- Abisaí, G. 2007. Los agaves en México. *Ciencias*, 87, 14-23.
- Alberdi, N.V. 2020. El Modelado de distribución de especies en los bosques de los andes meridionales. *Papeles de Geografía*, 66:195-207 Doi: <https://doi.org/10.6018/geografia.409051>
- Altamirano, A., Echeverría, C. y Lara, A. 2007. Efecto de la fragmentación forestal sobre la estructura vegetal de las poblaciones amenazadas de *Legrandia concinna* (*Myrtaceae*) del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80(1), 27-42.
- Althoff, D.M., Segraves, K.A., Leebens M.J. and Pellmyret, O. 2006. Patterns of speciation in the yucca moths: parallel species radiations within the *Tegeticula yuccasella* species complex. *Systematic Biology*, 55, 398–410. Doi: 10.1080/10635150600697325
- Althoff, D.M., Segraves, K.A., Smith, C.I., Leebens, M.J. and Pellmyr, O. 2012. Geographic isolation trumps coevolution as a driver of yucca and yucca moth diversification. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62(3), 898-906.
- Amaral, W., Yanchuk, A., and Kjaer, E. 2004. Methodologies for *ex situ* conservation. *Forest genetic resources conservation and management*. Vol. 3: In plantations and genebanks (ex situ). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp. 3-8.
- Amaro, J.E. 1982. Necesidad de incorporar al aprovechamiento de las áreas cubiertas de Izote (*Yucca sp.*) en Baja California. 1a. Reunión Nacional sobre Ecología y Manejo. pp. 130-138.
- Andrade, G. K.A., Ramírez, H. C. y López, U. J., Jiménez, C. M. y Lobato, O. R. 2021. Indicadores reproductivos en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* LINDL. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 183-183.
- Balloux, F. and Lugon M.N. 2002. The estimation of population differentiation with microsatellite markers. *Molecular Ecology*, 11(2), 155-165.

- Binotto, A. F., Lúcio, A.D.C., and Lopes, S.J. 2010. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*, 16(4), 457-464.
- Cabello, J., Cueto, M., Giménez, E. y Alcaraz, D. 2007. Herramientas científicas para evaluar el impacto sobre la flora en proyectos y planes de desarrollo. *Conservación Vegetal*, 11, 2-7.
- Cabrera, T.D., Vargas, P.O., Ascencio, R.S., Valadez, S.L.M., Pérez, A.J., Morales, S.J. and Huerta, G.O.F. 2020. Morphological and genetic variation in monocultures, forestry systems and wild populations of *Agave maximiliana* of western Mexico: implications for its conservation. *Frontiers in Plant Science*, 11, 817. doi: 10.3389/fpls.2020.00817
- Cedeño, F.M., Flores, L.J.M., Quesada, R.A. y Flores, R. 2020. Inventario florístico en un bosque amenazado por la expansión agrícola en la reserva del Centro Turístico Los Chocuacos, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 33-57.
- Clary, K.H. 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. The University of Texas at Austin.
- Clary, K.H. and Simpson, B.B. 1995. Systematics and character evolution of the genus *Yucca* (*Agavaceae*): Evidence from morphology and molecular analyses. *Botanical Sciences*, (56), 77-88.
- Cota-Sánchez, J. H., & Abreu, D. D. 2007. Vivipary and offspring survival in the epiphytic cactus *Epiphyllum phyllanthus* (Cactaceae). *Journal of Experimental Botany*, 58(14), 3865-3873.
- De Vicente, M. C., Lopez, C., and Fulton, T. (2004). Genetic diversity analysis with molecular marker data: learning module. Vol 2. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Rome Italy. 194 p.
- Domínguez, G.T.G., González, R.H., Ramírez, L.R.G., Estrada, C.A.E., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V., y Alanís, F.G. 2013. Diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 106-122.

- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487-515.
- Feinman, G.M. and Nicholas, L.M. 2020. Relict Plant Communities at Prehispanic Sites in Oaxaca, Mexico: Historical Implications. *Human Ecology*, 48(5), 539-555.
- Flores, L.C., Geda, L.G., Vargas, J., López, U. y López, R.E. 2012. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. *Revista Forestal Baracoa*, 31(2), 49-50.
- Frankham, R. 2010. Where are we in conservation genetics and where do we need to go? *Conservation Genetics*, 11(2), 661-663.
- Frankham, R., Bradshaw, C., and Brook, B. 2014. 50 / 500 rules need upward revision to 100/1000: –Response to Franklin et al. *Biological Conservation*, 176, 286-286.
- Franklin, I.R. 1980. Evolutionary change in small populations In: Soule, M.E.; Wilcox, B.A. (eds), editor/s. *Conservation Biology - An evolutionary-ecological perspective*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, U.S.A. pp. 135-149.
- Fuentes, J., Cueto, M. y Segura, J.M. 2018. Novedades corológicas destacables para la flora vascular de Andalucía, (sur de España) II. *Anales de Biología*, 40. 1-7.
- García, D. 2011. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20, 2-3.
- García, M.A.J., Ordoñez, D.M.J., Briones, S.M. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Ed-UNAM. 605 pp.
- Gil, V.K.C., Díaz, Q.C.E., Nava, C.A., García, M.A. y Simpson, J. 2007. Análisis AFLP del género *Agave* refleja la clasificación taxonómica basada en caracteres morfológicos y otros métodos moleculares. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, Mérida, México, 23-39.
- González, E.M.S., López, E.I.L., Tena F.J.A., González, G.J.G., Ruacho, G.L., ... y Estrada, C.A.E. 2017. Diagnóstico del conocimiento taxonómico y florístico de las plantas vasculares del norte de México. *Botanical sciences*, 95(4), 760-779.
- González, G.F. y De Silva, G.H.G. 2003. Especies Endémicas: Riqueza, Patrones de Distribución y Retos para su Conservación. 50-194 pp. *Conservación de Aves*.

- Experiencias en México. Cipamex. National Fish and Wildlife Foundation. Conabio, México.
- Granados S.D. y López R.G. F. 1998. *Yucca* “izote” del desierto”. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 4(1), 179-192.
- Granados S.D., Sánchez G.A., Granados V.R.L. y Borja R.A. 2011. Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17(SPE), 111-130.
- Guevara, S., Laborde, J. y Sánchez-Ríos G. 2004. La fragmentación. En Los Tuxtlas: El paisaje de la sierra. Editores: Guevara, S., Laborde, J. y Sánchez-Ríos G. Instituto de Ecología, A.C. Instituto de Ecología, A.C. pp. 111-134.
- Hochstätter, F. 2016. *Yucca* Linné. *Hesperaloe* Engelm (Agavaceae). Mannheim, Deutschland. 263 p.
- León L.J.L., Rebman, J.P., Van Devender, T.R., Sánchez E.J.J., Delgadillo R.J. y Medel N.A. 2018. El conocimiento florístico actual del Noroeste de México: desarrollo, recuento y análisis del endemismo. Botanical Sciences, 96(3), 555-568.
- Loo, J.A. 2011. Manual de genética de la conservación: Principios aplicados de genética para la conservación de la diversidad biológica. SEMARNAT, CONAFOR. México. 192 p.
- López, B.F. 2000. Impactos regionales del Cambio Climático. Valoración de la vulnerabilidad. Papeles de Geografía 32: 77-95.
- Magallán, H.F., Maruri, A.B., Sánchez, M.E., Hernández, S.L., Luna, Z.J., y Robledo, M.M. 2014. Consideraciones taxonómicas de *Yucca queretaroensis* Piña (Agavaceae), una especie endémica del Semidesierto Queretano-Hidalguense. Acta Botánica Mexicana, (108), 51-66.
- Maiti, R.K., Vidyasagar, P., Rajkumar, D., Ramaswamy, A. and Rodríguez, H. G. (2011). Seed priming improves seedling vigor and yield of few vegetable crops. International Journal of Bio-resource and Stress Management, 2(1), 125-130.
- Major, J. 1988. Endemism: a botanical perspective. In: Myers, A.A., Giller, P.S. (eds) Analytical Biogeography. Springer, Dordrecht. Pp. 117–146

- Malik, V. 2016. The conservation status of *Derris scandens* (Roxb.) Benth var. *saharanpurensis* (Thoth.) Thoth. (Fabaceae), a climber endemic to Saharanpur, Uttar Pradesh, India. *Journal of Threatened Taxa*, 8(5), 8837-8840.
- Manzanilla, Q.U., Delgado, V.P., Hernández, R.J., Molina, S.A., García, M, J.J., y Rocha, G.M. D. C. (2019). Similaridad del nicho ecológico de *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (Pinaceae) en México: implicaciones para la selección de áreas productoras de semillas y de conservación. *Acta Botánica Mexicana*, (126): e1398. DOI: 10.21829/abm126.2019.1398
- Martínez, A. y Oro A.D. 2006. Pequeñas poblaciones, grandes problemas. *Quercus* 245: 36-39.
- Martínez, M.E. 2005. Climate change and biodiversity: some considerations in forecasting shifts in species potential distributions. *Biodiversity Informatics*. 2:42-55.
- Martínez, N.D.A., Franco, S.M., Valtierra, E.P. y Nava, G.B. 2016. Aprovechamiento de productos forestales no maderables en los bosques de montaña alta, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(37), 21-38
- Mateo, R.G., Felicísimo, Á.M. y Muñoz, J. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240.
- Matuda, E., y Piña, L.I. 1980. Las plantas mexicanas del genero *Yucca*. LANFT Toluca, Edo. De México 7:51:71.
- Mckelvey, S.D. 1938. *Yuccas of the Southwestern United States. Part I.* Arnold Arboretum of Harvard University Press. Boston, USA. 150 pp.
- Mckelvey, S.D. 1947. *Yuccas of the Southwestern United States. Part II.* Arnold Arboretum of Harvard University Press. Boston, USA. 192 pp.
- Mosseler, A., Major, J.E., Simpson, J.D., Daigle, B., Lange, K., S-Park, Y., Johnsen, K.H. and Rajora, O.R. 2000. Indicators of populations' viability in red spruce *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity, *Canadian Journal of Botany*. 78(7), 928-940.
- Muro, P.G. 2011. Asociaciones nodriza-protégida y germinación de cactáceas en Durango y Tamaulipas. Tesis profesional. Doctorado en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 72 p.

- Noguera, U.E.A. 2017. El endemismo: diferenciación del término, métodos y aplicaciones. *Acta Zoológica Mexicana*, 33(1), 89-107.
- North, G.B., Brinton, E.K., and Garrett, T.Y. 2008. Contractile roots in succulent monocots: convergence, divergence and adaptation to limited rainfall. *Plant, Cell and Environment*, 31(8), 1179-1189.
- Ortíz, M.A., Moreno, L.A. y Piñero, D. 2008. Fragmentación y expansión demográfica en las poblaciones mexicanas de *Pinus ayacahuite* var. *ayacahuite*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (83), 25-36.
- Pellmyr, O. 2003. Yuccas, yucca moths, and coevolution: a review. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 35-55.
- Pellmyr, O., Segraves, K.A., Althoff, D.M., Balcázar L.M. and Leebens M. J. 2007. The phylogeny of yuccas. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43(2), 493-501.
- Phillips, S. J., Anderson, R. and Schapire, R. 2006. *Ecological Modelling*, 190: 231 – 259.
- Phillips, S.J and Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Picó, F.X. y Quintana, A.P.F. 2005. Análisis de factores demográficos y genéticos para la conservación de poblaciones de plantas en un hábitat fragmentado. *Revista Ecosistemas*, 14(2), 109-115.
- Piña L, I. 1984. Las Plantas del Género *Yucca* de la Baja California. Reunión Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación. pp 125-129.
- Prentice, H.C. and Andersson, S. 1997. Genetic variation and population size in the rare dioecious plant *Silene diclinis* (*Caryophyllaceae*). In: *The role of genetics in conserving small populations*, (eds. Tew TE, Crawford TJ, Spencer JW, Stevens DP, Usher MB, Warren J), pp. 65–72. JNCC, Peterborough.
- Prentice, R.L. 1976. A generalization of the probit and logit methods for dose response curves. *Biometrics*, 761-768.
- Pulliam, H.R. 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3(4), 349-361.
- Quesada, M., Stoner, K.E., Lobo, J.A., Herrerías, D.Y., Palacios, G.C., Munguía, R. M.A., ... and Rosas, G.V. 2004. Effects of forest fragmentation on pollinator activity and

- consequences for plant reproductive success and mating patterns in bat-pollinated *Bombacaceous* trees 1. *Biotropica*, 36(2), 131-138.
- Ramos B., G.E. 2015. Análisis de la viabilidad del aprovechamiento de especies forestales no maderables en el Ejido San Miguel, Municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. Investigación descriptiva. Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 77 p.
- Rechy C.M. 2000. Estudio integral tecnológico de cinco especies del género *Yucca* para uso industrial. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. 91 p.
- Reyes, V.M.H., Benavides, M.A., Ramírez, R.H., y Villarreal, Q.J.A. 2013. Biología e importancia del sotol (*Dasyilirion* spp). Parte II: Ecofisiología, usos e interrogantes. *Planta*, 8(17), 16-20.
- Ridaura S.V.E. 1980. *Yucca*. *Desierto y Ciencia*. año II. No. 2 1980. pp 136-140.
- Rivera, L.M., García, M.A., Simpson, J., Solano, E., and Gil, V.K. 2018. Taxonomic implications of the morphological and genetic variation of cultivated and domesticated populations of the *Agave angustifolia* complex (*Agavoideae*, *Asparagaceae*) in Oaxaca, Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 304(8), 969-979.
- Rocha, M., Good, A.S.V., Molina, F.F., Arita, H.T., Castillo, A., García, M.A., and Eguiarte, L.E. 2006. Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*, 22(1), 329-344.
- Romahn, De La V.C.F. 1984. Principales productos forestales no maderables de México. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 561 p.
- Ruiz, J.C.A., Santos, P.H.M.D.L., Parraguirre, L.J.F., y Saavedra, M.F.D. 2018. Evaluación de la categoría de riesgo de extinción del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3), 938-949.
- Rzedowski, J. 1965. Relaciones geográficas y posibles orígenes de la flora de México. *Botanical Sciences*, (29), 121-177.

- Rzedowski, J. 1991. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana*, (15), 47-64.
- San Vicente, M.G. y Valencia, P.J L. 2012. Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos. Revista de Geografía*, (16), 35-54.
- Sánchez, S.J., Muro, G., Estrada, C.E. y Alba, A.J.A. 2013. El MER: un instrumento para evaluar el riesgo de extinción de especies en México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 12(1), 30-35.
- Santos, M.T. y Tellería, J.J.L. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15 (2), 3-12.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. [http://www.semarnat.gob.mx/leyes y normas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20Vigentes/NOM%20059%20SEMARNAT%202010%20PROTECCION%20AMBIENTAL%20ESPECIES%20NATIVAS%20DE%20MÉXICO%20DOF%2030%20DIC%202010](http://www.semarnat.gob.mx/leyes_y_normas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20Vigentes/NOM%20059%20SEMARNAT%202010%20PROTECCION%20AMBIENTAL%20ESPECIES%20NATIVAS%20DE%20MÉXICO%20DOF%2030%20DIC%202010). p.
- Smith, C.I., Pellmyr, O., Althoff, D.M., Balcazar L.M., Leebens M.J. and Segraves, K.A. 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.
- Thiede, J. 2020a. *Furcraea-Agavaceae*. In U. Egli & R. Nyffeler (eds.), *Illustrated handbook of succulent plants. Monocotyledons*. Berlín: Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature. pp. 323-347.
- Thiede, J. 2020b. *Yucca Agavaceae*. In Egli & R. Nyffeler (eds.), *Illustrated handbook of succulent plants. Monocotyledons*. Berlín: Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature. pp. 363–421.
- Tilki, F., and Alptekin, C. U. (2005). Variation in acorn characteristics in three provenances of *Quercus aucheri* Jaub. et Spach and provenance, temperature and storage effects on acorn germination. *Seed Science and Technology*, 33(2), 441-447.



- Trelease, W. 1902. The *yuccae*. Missouri Botanical Garden Annual Report, 1902, 27-133.
- Trelease, W. 1920. The survival of the unlike. *Science*, 51(1329), 599-605.
- UICN. 2012. Directrices para el uso de los Criterios de la Lista Roja de la UICN a nivel regional y nacional: Versión 4.0. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. iii + 43pp. Originalmente publicado como Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. IUCN, Gland, Suiza, 44 p.
- Vázquez, R.C. J., Martínez, G.G., Mora, O.A., Correa, S.A., Horta, V.J.V., Arriaga, F.J. C., y Venegas, B.C.S. (2019). Riesgo en la biodiversidad por cambio en la cobertura de terreno en regiones terrestres prioritarias y áreas naturales protegidas en el noreste de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90: e902726. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2726>
- Vetaas, O.R. and Grytnes, J.A. 2002. Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation gradient in Nepal. *Global Ecology and Biogeography*, 11(4), 291-301.
- Villarreal, Q.J.Á. y Encina, D.J.A. 2005. Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana*, (70), 1-46.
- Villaseñor, J.L. y Ortiz, E. 2014. Biodiversidad de las plantas con flores (División *Magnoliophyta*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S134-S142, DOI: 10.7550/rmb.31987.
- Volis, S., and Blecher, M. 2010. *Quasi in situ*: a bridge between ex situ and in situ conservation of plants. *Biodiversity and Conservation*, 19(9), 2441-2454.
- Webber, J.M. 1953. *Yuccas of the southwest*. Monograph No. 17. US Department of Agriculture. 97 p. + 72 plates.
- Williams, J.W. and Jackson, S.T. 2007. Novel climates, no analog communities, and ecological surprises. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 475-482.
- Wilson, K.A., Westphal, M.I., Possingham, H. P. and Elith, J. 2005. Sensitivity of conservation planning to different approaches to using predicted species distribution data. *Biological Conservation*, 122, 99-112.

- Young A. G., A. H. D. Brown, B. G. Murray, P. H. Thrall, C. H. Millar. 2000. Genetic erosion, restricted mating and reduced viability in fragmented populations of the endangered grassland herb *Rutidosia leptorrhynchoidea*. In: Genetics, demography and viability of fragmented populations. Editors: A. Young, G. Clarke. Cambridge University Press. pp. 333-359.
- Zambrano, J.A., y Díaz, L.A. (2008). Efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus* sp. en *Gmelina arborea* durante su germinación y manejo en vivero. Universitas Scientiarum, 13(2), 162-170.