

Análisis de Vacíos de Conservación de Especies Nativas de Encinos Mesoamericanos

Kate Good, Allen J. Coombes, Susana Valencia-A,
Maricela Rodríguez-Acosta, Emily Beckman Bruns, Silvia Alvarez-Clare





THE
CHAMPION
of TREES

THE MORTON ARBORETUM es una organización sin fines de lucro con la misión de recolectar, estudiar, exhibir y conservar árboles y otras plantas de todo el mundo para inspirar el aprendizaje, fomentar el disfrute, beneficiar a las comunidades, fomentar la acción y mejorar el medio ambiente. The Morton Arboretum cuenta actualmente con dos asociaciones/colaboraciones estratégicas en marco del Programa Global de Conservación de Árboles (GTCP en inglés):



EL CONSORCIO GLOBAL PARA CONSERVACIÓN DE ENCINOS (GCCO EN INGLÉS), en colaboración con Conservación Internacional en Jardines Botánicos (BGCI en inglés), tiene como objetivo movilizar una red coordinada de instituciones y expertos para desarrollar e implementar en colaboración una estrategia de conservación integral con el objetivo final de prevenir la extinción en el encino del mundo.



EL CENTRO PARA LA SOBREVIVENCIA DE ESPECIES: ARBOLES (CSS: TREES EN INGLÉS) se estableció en 2023 a través de una asociación estratégica entre la Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN y The Morton Arboretum. La misión de CSS: Trees es trabajar con socios para promover y apoyar la conservación de especies de árboles y ecosistemas forestales, principalmente en puntos críticos de biodiversidad. CSS: Trees es el primer centro dedicado exclusivamente en árboles y el único alojado en un arboreto.

Este trabajo fue financiado mediante subvenciones de la **FUNDACIÓN FRANKLINIA**, y **THE WALDER FOUNDATION**.

Se autoriza la reproducción de cualquier parte de la publicación con fines educativos, de conservación y otros fines sin fines de lucro sin el permiso previo del titular de los derechos de autor, siempre que se mencionen plenamente las fuentes. Está prohibida la reproducción para reventa u otros fines comerciales sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos de autor.

Cita recomendada: Good, K., Coombes, A. J., Valencia-A, S., Rodríguez-Acosta, M., Beckman Bruns, E., & Alvarez-Clare, S. (2024). *Análisis de Vacíos de Conservación de Especies Nativas de Encinos Mesoamericanos*. Lisle, IL: The Morton Arboretum.

Fotos de Portada

Portada: *Quercus hirtifolia* en su hábitat. *Quercus hirtifolia* es una especie en peligro de extinción que sólo se encuentra en los bosques nublados y templados húmedos de la Sierra Madre Oriental en México. Los encinos son especies clave para la protección del agua en los bosques nublados de Mesoamérica (crédito de la foto: Maricela Rodríguez-Acosta)

Contraportada: Bellotas *Quercus ajoensis* (crédito de la foto: Mimi Kamp)

Diseño

John Morgan. www.seascapedesign.co.uk

Análisis de Vacíos de Conservación
de Especies Nativas de
Encinos Mesoamericanos

Julio 2024

Kate Good, Allen J. Coombes, Susana Valencia-A,
Maricela Rodríguez-Acosta, Emily Beckman Bruns, Silvia Alvarez-Clare



THE
CHAMPION
of TREES



Global
Conservation
Consortium
Oak





Bosque de *Quercus grisea*, Nuevo León, México (The Morton Arboretum)

AGRADECIMIENTOS

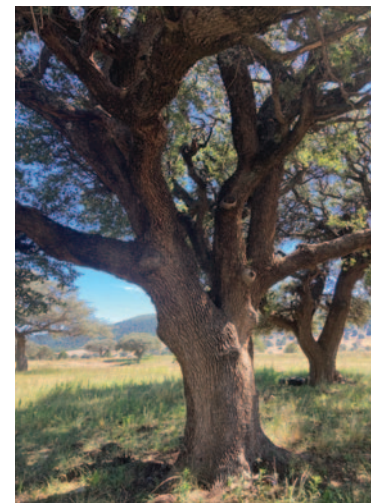
Nos gustaría agradecer a todos los que compartieron datos de accesos *ex situ*, revisaron mapas de ocurrencia y contribuyeron a los Perfiles de Especies. Un análisis exitoso de los vacíos de conservación depende de que muchas personas diferentes de diversos orígenes compartan generosamente su tiempo y experiencia. Para obtener una lista completa de contribuyentes, consulte el Apéndice A. Un agradecimiento específico a Carlos F. García y Maricela Rodríguez-Acosta por editar la traducción al español. Finalmente, agradecemos al Departamento de Ciencia y Conservación y al Equipo de Liderazgo de The Morton Arboretum por su apoyo institucional. Este informe fue posible gracias al apoyo financiero de la Fundación Franklinia y The Walder Family Foundation.

ACRÓNIMOS

AOO	Area of Occupancy
BGCI	Botanic Gardens Conservation International
BIEN	Botanical Information and Ecology Network
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
EOO	Extent of Occurrence
ERS	Ecological Representativeness Score
ESA	Endangered Species Act
FCS	Final Conservation Score
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GCCO	Global Conservation Consortium for Oak
GRS	Geographical Representativeness Score
IOS	International Oak Society
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
KBA	Key Biodiversity Area
ONG	Organización no gubernamental
SRS	Sampling Representativeness Score
SSC	Species Survival Commission
WDPA	World Database on Protected Areas

CATEGORÍAS DE AMENAZAS DE LA LISTA ROJA DE LA UICN

- CR** En Peligro Crítico
- EN** En Peligro
- VU** Vulnerable
- NT** Casi Amenazado
- LC** Preocupación Menor
- DD** Datos Insuficientes



Quercus grisea en Nuevo León, México (The Morton Arboretum)





TABLA DE CONTENIDO

Quercus cualensis (M.C. Luz María González Villarreal)

Resumen Ejecutivo	4
Introducción y Objetivos	5
Métodos	7
Metodología de Análisis de Vacíos de Conservación	7
Región de Estudio	7
Especies Objetivo	7
Datos de Recopilación Ex Situ	10
Fuentes de Datos In situ	10
Curación de Datos de Ocurrencia	11
Análisis Espaciales	11
Riqueza de Especies en Tres Resoluciones Espaciales	12
Vulnerabilidad al Cambio Climático	13
Áreas Clave para la Biodiversidad	14
Amenazas y Actividades de Conservación	14
Puntaje de Acción de Conservación	15
Resultados y Análisis	16
Riqueza de Especies en Tres Resoluciones Espaciales	16
Colecciones Ex Situ	18
Análisis Espaciales Ex Situ	23
Análisis Espaciales In Situ	25
Áreas Clave para la Biodiversidad	26
Zonas de vida de Holdridge	28
Vulnerabilidad al Cambio Climático	33
Amenazas	38
Actividades de Conservación	40
Puntaje para la Acción de Conservación	43
Conclusiones	46
Referencias	48
Apéndice A	54
Apéndice B	56
Apéndice C	57
Apéndice D	61
Apéndice E	62
Apéndice F	64
Apéndice G	68



RESUMEN EJECUTIVO

Mesoamérica es el centro mundial de diversidad del encino (género *Quercus*), con más de 160 especies sólo en México. A pesar de esta increíble diversidad, de muchas especies poco se sabe sobre el tamaño, la distribución o las amenazas de la población. Existe una necesidad urgente de coordinar y priorizar acciones de conservación tanto para poblaciones silvestres como para colecciones vivas en jardines botánicos. Con este fin, llevamos a cabo un análisis de vacíos de conservación de 59 especies de encinos Mesoamericanos amenazadas y con Datos Insuficientes, que aquí presentamos. Definimos a Mesoamérica como la región que se extiende desde la frontera entre Estados Unidos y México hasta Panamá. Como parte de este análisis, creamos un conjunto de datos curados de más de 4400 puntos de ocurrencia *in situ*, evaluamos la representación geográfica y ecológica de especies en colecciones *ex situ*, identificamos áreas de conservación prioritarias para los encinos en la región y determinamos las necesidades de conservación, con un enfoque particular sobre la representación en colecciones vivas. Además del informe principal, que resume los resultados de las especies y subregiones, también creamos un perfil detallado para cada especie amenazada. Estos Perfiles de especies son documentos independientes preparados y revisados por expertos en taxonomía. Cada uno destaca las actividades de conservación más urgentemente necesarias para esa especie, con el propósito de servir como una guía para los profesionales de la conservación, administradores de tierras e investigadores.

Entre 2017 y 2022 solicitamos datos de colecciones de instituciones *ex situ* con accesos de *Quercus*. Hubo 197 instituciones que informaron colecciones vivas de al menos un encino Mesoamericano, la mayoría de las cuales se encuentran en Estados Unidos (49%) y Europa (32%). Sólo nueve (5%) instituciones en Mesoamérica informaron tener una o más especies de encinos Mesoamericanos en su colección. Identificamos que 22 de nuestras especies objetivo no se encuentran en alguna colección *ex situ* en ningún lugar del mundo. A través de análisis espaciales, encontramos que sólo tres especies tienen colecciones *ex situ* que representan más del 50% del área de distribución geográfica de la especie (es decir, la proporción del área de distribución nativa de una especie que está representada en colecciones), y 19 especies tienen una cobertura ecológica mayor al 50% (es decir, la proporción de ecorregiones representadas en las colecciones).

Para cada especie amenazada, realizamos una extensa revisión de la literatura y entrevistamos a expertos regionales en especies para identificar las amenazas más

urgentes, así como las actividades de conservación actuales. Las amenazas más comúnmente reportadas fueron el cambio climático (100% de las especies), la agricultura (72%) y el desarrollo residencial/comercial (69%). Las actividades de conservación reportadas con mayor frecuencia fueron la recolección silvestre de material vivo y/o la representación en colecciones *ex situ* (84% de las especies) y la investigación (66%). Aproximadamente una cuarta parte (16 de 59) de las especies objetivo tienen menos del 10% de su área de distribución nativa dentro de áreas protegidas. También pedimos a los expertos regionales de *Quercus* que identificaran qué actividad de conservación debería ser la prioridad para cada especie. Las prioridades más comúnmente reportadas fueron educación/divulgación (14 especies), investigación (13) y programas de propagación/mejoramiento (13).

Este análisis de vacíos se basa en la metodología desarrollada por The Morton Arboretum, en asociación con Botanic Gardens Conservation International-US (BGCI-US). La metodología está diseñada para ser flexible y puede adaptarse para satisfacer las necesidades de taxones y regiones geográficas específicas. Además de incorporar métodos de análisis de vacíos bien establecidos, también hemos desarrollado varios métodos novedosos para satisfacer las necesidades únicas asociadas con la conservación de encinos raros y, a menudo, poco estudiados en Mesoamérica. En particular: 1) desarrollamos una nueva metodología para cuantificar la vulnerabilidad al cambio climático, 2) incorporamos el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge en nuestra evaluación de la cobertura ecológica y 3) priorizamos el uso de Áreas Clave para la Biodiversidad como herramienta para la conservación *in situ*.

En las últimas décadas se han logrado avances significativos para comprender mejor la rica diversidad de encinos en Mesoamérica. Sin embargo, persisten importantes lagunas de conocimiento y las investigaciones científicas no siempre se han traducido en acciones de conservación efectivas. La colaboración eficiente entre una amplia gama de instituciones y sectores es crucial para promover este progreso y prevenir una mayor pérdida de biodiversidad dentro de la región. Este análisis de vacíos se puede utilizar para identificar áreas potenciales de colaboración y establecer prioridades. Nuestros resultados resaltan la necesidad urgente de ampliar el trabajo de reconocimiento y exploración, aumentar la representación de especies de encinos en jardines botánicos y arboretos (particularmente en México y Centroamérica) e identificar regiones, especies y actividades prioritarias para enfocar los esfuerzos de conservación tanto *in situ* como *ex situ*.





INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Plantación nueva de café que muestra la destrucción del bosque nublado en Costa Rica (The Morton Arboretum)

Mesoamérica (definida aquí como la región que comprende México y Centroamérica) es una de las regiones con mayor diversidad florística del mundo. Contiene casi el 8% de la biodiversidad del mundo y está reconocido como el tercer punto crítico de biodiversidad más grande (Suzart de Albuquerque et al., 2015). Solo México tiene más de 23000 especies de plantas vasculares, de las cuales aproximadamente 11000 son endémicas (Villaseñor, 2016). México se encuentra dentro de los diez países con más especies de árboles, con 3364, siendo *Quercus* el género más rico en especies arbóreas (Beech et al., 2017; Tellez et al., 2020). Se estima que hay 164 especies de encinos en México, lo que lo convierte en el centro de diversidad de encinos a nivel mundial. Los encinos habitan en la mayoría de los tipos de vegetación dentro de la región, donde a menudo son especies clave que dan forma a las relaciones ecológicas y brindan múltiples servicios ecosistémicos y beneficios económicos (Valencia-A, 2010).

Los bosques de encinos de Mesoamérica han experimentado cambios rápidos en las últimas décadas, y los bosques dentro de esta región geográfica se encuentran entre los ecosistemas tropicales más amenazados. A nivel mundial, esta región es uno de los tres principales puntos críticos de biodiversidad que ha experimentado la mayor pérdida reciente de superficie forestal (Hu et al., 2020). La Lista Roja de Encinos reveló que México ocupa el segundo lugar después de China en cuanto al número de especies de encinos amenazadas en el mundo, con un 20% de especies amenazadas de extinción (Carrero et al., 2020). Veintisiete especies han sido categorizadas como Datos Insuficientes, lo que significa que no hay información adecuada para evaluar su riesgo de extinción. Los encinos enfrentan una variedad de amenazas, incluido el desarrollo urbano y rural, la agricultura, el cambio climático, las especies invasoras y las plagas. A pesar de las amenazas urgentes que enfrentan los encinos Mesoamericanos, de muchas especies se sabe muy poco sobre el tamaño y las tendencias de su población, su distribución o su ecología.

Esta falta de conocimiento hace que la planificación e implementación de actividades de conservación apropiadas sea extremadamente desafiante.

La Comisión de Supervivencia de Especies de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) se basa en el Ciclo de Conservación de Especies de "Evaluar, Planificar, Actuar" como marco para guiar las actividades de conservación. Un aspecto importante del componente "Evaluar" es la Lista Roja. La Lista Roja de Encinos publicada recientemente hizo contribuciones cruciales a nuestra comprensión del estado actual de los encinos en todo el mundo, incluida Mesoamérica (Carrero et al., 2020). Aún así, quedan dudas sobre cuál es la mejor manera de priorizar las especies y regiones para la conservación. Un enfoque para identificar y abordar estas brechas de conocimiento es a través de un análisis de los vacíos de conservación. Un análisis de vacíos de conservación es una evaluación integral de los éxitos y necesidades de las poblaciones tanto *in situ* (silvestres, dentro del hábitat nativo) como *ex situ* (dentro de colecciones vivas o bancos de semillas). El único análisis de vacíos de conservación conocido para los encinos fue realizado en 2019 por Beckman et al. para especies nativas de los Estados Unidos. A pesar de ser la región con mayor número de especies de encinos, este tipo de análisis nunca se ha realizado para los encinos de Mesoamérica.



Quercus macdougalii (Nelly Pacheco)



Existen varios desafíos para la conservación de los encinos que requieren su existencia en colecciones *ex situ* y la colaboración estratégica entre las partes interesadas. En primer lugar, son especies recalcitrantes, lo que significa que las bellotas no pueden sobrevivir a las condiciones de secado y congelación típicas de los bancos de semillas convencionales. Por tanto, los encinos necesitan métodos alternativos como la criopreservación (Ballesteros & Pritchard, 2020), el cultivo de tejidos (Meyad et al., 2023) o colecciones vivas *ex situ*. Aunque lo ideal es proteger las especies en su hábitat nativo, existe un reconocimiento creciente del valor de conservación de las colecciones vivas de alta calidad (Cavender et al., 2015; Westwood et al., 2021). En segundo lugar, los encinos son conocidos por su capacidad para hibridarse dentro de la misma sección. Los híbridos normalmente no forman grupos grandes, sino que son esporádicos y aislados entre los padres (Valencia-A, 2010). Los híbridos pueden presentar un mosaico de características intermedias, o pueden favorecer el parecido de un progenitor sobre el otro, lo que dificulta la identificación de especies en el campo. Otros desafíos relacionados con el reconocimiento de los encinos Mesoamericanos incluyen una alta variación morfológica dentro de una sola especie y descripciones originales que carecen de información suficiente sobre esta variación (Valencia-A, 2010). Se necesita la colaboración entre investigadores que se centre en temas como la genética de poblaciones, la taxonomía y la filogenética para comprender y proteger mejor este género desafiante. Finalmente, debido a que los encinos pueden ser grandes y longevos, requieren una cantidad significativa de espacio físico para crecer. A menudo se necesitan metacolectores que involucren a múltiples instituciones que trabajen juntas para lograr un número adecuado de individuos en las colecciones. Para abordar estos desafíos es necesaria una estrecha colaboración entre las diferentes partes interesadas, así como una conservación eficaz *in situ* y *ex situ*.

Aquí, presentamos un análisis integral de las vacíos de los encinos Mesoamericanos, que realizamos para comprender mejor las necesidades y oportunidades de conservación para todas las especies amenazadas y con Datos Insuficientes en la región. Para cada una de nuestras especies objetivo, caracterizamos lo siguiente:

- Distribución nativa
- Cobertura de área protegida
- Valor de conservación de colecciones *ex situ* basado en la representación geográfica y ecológica de poblaciones silvestres
- Amenazas y actividades de conservación pasadas, presentes y futuras

Además de un resumen de los resultados para las 59 especies objetivo, este análisis de vacíos también incluye perfiles de especies detallados para las 32 especies amenazadas que resumen la distribución y las amenazas, así como el estado y las necesidades de conservación *in situ* y *ex situ* (Apéndice G). Se proporciona un perfil abreviado similar para las 27 especies con Datos Insuficientes. Estos perfiles de especies se basan en las evaluaciones de la Lista Roja al proporcionar el estado más actualizado de cada especie, además de priorizar las actividades de conservación. Este análisis se basó en el aporte de docenas de expertos en especies de México y Centroamérica que examinaron los puntos de ocurrencia y brindaron información sobre las amenazas actuales y las necesidades de conservación de cada especie. Estos expertos en especies son miembros del Global Conservation Consortium for Oak (GCCO) y representan una variedad de sectores, incluidos el mundo académico, el gobierno, jardines botánicos, arboretos, herbarios y ONG.

El objetivo de este análisis de vacíos es ayudar a priorizar y coordinar las actividades de conservación entre las partes interesadas relevantes en su esfuerzo por conservar efectiva y eficientemente los encinos Mesoamericanos. Fomentamos acciones y proyectos de conservación participativos que apoyen los medios de vida locales y respeten el conocimiento local. Como esperamos que este documento sea útil para una amplia audiencia, lo hemos publicado en inglés y español, y proporcionamos el informe principal en formato digital e impreso. Los Perfiles de Especies sirven como guías técnicas independientes que pueden ser utilizadas por académicos, estudiantes o profesionales de la conservación interesados en trabajar con una o más de las especies prioritarias.



Quercus brandegeei (The Morton Arboretum)



MÉTODOS

Quercus engelmannii (Dave Muffly)

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VACÍOS DE CONSERVACIÓN

The Morton Arboretum, en asociación con *Botanic Gardens Conservation International-US* (BGCI-US), comenzó a desarrollar una metodología de análisis de vacíos de conservación en 2016 con el objetivo de identificar vacíos y brindar recomendaciones de conservación para poblaciones de plantas leñosas *ex situ* e *in situ*. Se utilizaron encinos nativos de Estados Unidos como grupo piloto para probar la metodología (Beckman et al., 2019), que incorporó métodos desarrollados por Khoury et al. (2020) para evaluar las prioridades de conservación de parientes silvestres de cultivos. Desde 2016, la metodología ha seguido desarrollándose y se han publicado análisis de vacíos adicionales que amplían el flujo de trabajo desarrollado por The Morton Arboretum, incluido *Acer* (Crowley, 2019), nueve géneros prioritarios en los Estados Unidos (*Carya*, *Fagus*, *Gymnocladus*, *Juglans*, *Pinus*, *Taxus*, *Lindera*, *Persea*, y *Sassafras*; Beckman et al., 2021), *Magnolia* (Linskey et al., 2022a; 2022b) y diez géneros, parientes silvestres de cultivos de árboles frutales y nueces en América del Norte (*Asimina*, *Carya*, *Castanea*, *Corylus*, *Diospyros*, *Juglans*, *Malus*, *Persea*, *Pistacia*, y *Prunus*; Beckman Bruns et al., 2023a). Este análisis de vacíos de los encinos Mesoamericanos es el ejemplo más reciente de implementación de la metodología de análisis de vacíos de conservación. Véase Beckman Bruns (2023) para obtener documentación sobre el análisis de vacíos y materiales de capacitación.

REGIÓN DE ESTUDIO

Definimos a Mesoamérica como la región compuesta por los países de México, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Varias especies nativas de México tienen la parte más septentrional de su área de distribución en los Estados Unidos, específicamente en los estados de California, Arizona, Nuevo México y Texas. Si bien

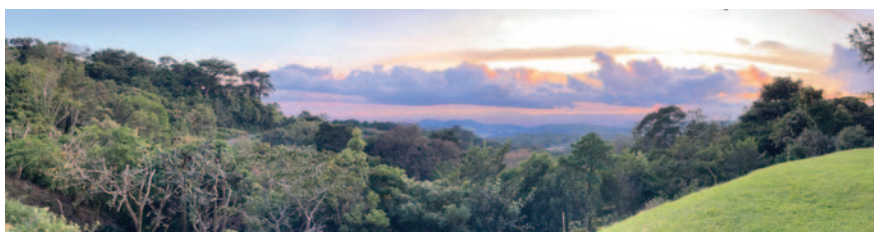
este estudio se centra en el estado de los encinos en Mesoamérica, también consideramos la gama completa de estas especies transfronterizas en todos los análisis. Existe una especie de encino en América del Sur: *Q. humboldtii* en Colombia. Esta especie está evaluada como de Preocupación Menor y, por lo tanto, no fue el objetivo de nuestro análisis. Además, *Q. sagraeana* es la única especie de encino originaria del Caribe, en Cuba. Debido a que está fuera de la región de estudio, no lo incluimos en nuestra lista de taxones objetivo.

ESPECIES OBJETIVO

Primero identificamos 177 especies de encinos Mesoamericanos y sus sinónimos con base en una lista de especies proporcionada por GCCO México y Centroamérica. Luego refinamos nuestra lista de especies para incluir solo aquellas evaluadas por la Lista Roja de la UICN como En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerables o con Datos Insuficientes (IUCN, 2023). Después de una revisión adicional de nuestra lista de especies objetivo, eliminamos dos especies con Datos Insuficientes: *Q. edwardsiae* como sinónimo de *Q. monterreyensis* y *Q. alpescens* como sinónimo de *Q. greggii*. También eliminamos una especie Vulnerable, *Q. furfuracea*, como sinónimo de *Q. sartorii*. Además, tres especies (*Q. tardifolia*, *Q. robusta* y *Q. hinckleyi*) no tienen registros conocidos en Mesoamérica y su presencia fuera de Texas es incierta. No incluimos estas tres especies en el análisis de vacíos. Sin embargo, deberían ser el objetivo de futuros trabajos de encuesta en los estados mexicanos de Chihuahua y Coahuila para identificar potencialmente poblaciones adicionales fuera de los Estados Unidos. Finalmente, cabe señalar que existen varias especies de encino Mesoamericano que no están bien definidas y los expertos no están de acuerdo sobre su estatus taxonómico. Estas especies incluyen *Q. aerea*, *Q. carmenensis*, *Q. cupreata*, *Q. diversifolia*, *Q. graciliformis*, *Q. ignaciensis*, *Q. perpallida*, *Q. rekonis*, *Q. runcinatifolia*, *Q. verde* y *Q. vicentensis* (Susana Valencia-A y Andrew Hipp, comunicación personal, 2024).



Aunque hemos incluido estas especies en el análisis de vacíos, reconocemos que merecen una revisión taxonómica adicional. Nuestra lista final de especies objetivo incluye 32 especies amenazadas y 27 especies con Datos Insuficientes, para un total de 59 especies (Tabla 1).



Hábitat de encino en Costa Rica (The Morton Arboretum)

Tabla 1. Lista de 59 especies objetivo junto con su categoría de la Lista Roja, criterios de evaluación y año de evaluación. Las definiciones de los criterios de la Lista Roja de la UICN se pueden encontrar en www.iucnredlist.org/resources/categories-and-criteria. NA = no aplicable.

Nombre de la Especie	UICN Categoría de la Lista Roja	UICN Criterios de la Lista Roja	Año de Evaluación
<i>Quercus graciliformis</i>	En Peligro Crítico	C2a(ii)	2016
<i>Quercus mulleri</i>	En Peligro Crítico	B1ab(iii,v)+2ab(iii,v); C2a(ii)	2015
<i>Quercus brandegeei</i>	En Peligro	B1ab(iii,v)c(iv)+2ab(iii,v)c(iv)	2016
<i>Quercus carmenensis</i>	En Peligro	B1ab(iv)	2015
<i>Quercus cualensis</i>	En Peligro	B1ab(iii)	2016
<i>Quercus cupreata</i>	En Peligro	B1ab(iii)+2ab(iii)	2017
<i>Quercus delgadoana</i>	En Peligro	B2ab(iii)	2018
<i>Quercus devia</i>	En Peligro	B1ab(iii)+2ab(iii)	2018
<i>Quercus diversifolia</i>	En Peligro	B2ab(iii)	2017
<i>Quercus dumosa</i>	En Peligro	B2ab(ii,iii,iv,v)	2016
<i>Quercus engelmannii</i>	En Peligro	A3c	2016
<i>Quercus flocculenta</i>	En Peligro	B1ab(iii)+2ab(iii)	2017
<i>Quercus galeanensis</i>	En Peligro	B2ab(iii)	2018
<i>Quercus hintonii</i>	En Peligro	B1ab(i,ii,iii)+2ab(i,ii,iii)	2017
<i>Quercus hirtifolia</i>	En Peligro	B1ab(iii)+2ab(iii)	2017
<i>Quercus insignis</i>	En Peligro	B2ab(iii)	2017
<i>Quercus macdougallii</i>	En Peligro	B1ab(iii)+2ab(iii)	2018
<i>Quercus miquihuanensis</i>	En Peligro	B1ab(iii)+2ab(iii)	2018
<i>Quercus nixoniana</i>	En Peligro	B2ab(iii)	2019
<i>Quercus radiata</i>	En Peligro	B2ab(iii)	2018
<i>Quercus runcinatifolia</i>	En Peligro	B1ab(iii)+2ab(iii)	2018
<i>Quercus tomentella</i>	En Peligro	B2ab(i,ii,iv,v)	2016
<i>Quercus acutifolia</i>	Vulnerable	A3bc	2015
<i>Quercus ajoensis</i>	Vulnerable	B2ab(iii)	2017
<i>Quercus cedrosensis</i>	Vulnerable	B2ab(ii,iii,iv)	2016
<i>Quercus costaricensis</i>	Vulnerable	A2cd; B1ab(ii,iii)+2ab(ii,iii)	2019
<i>Quercus gulielmi-treleasei</i>	Vulnerable	B1ab(iii)+2ab(iii)	2018
<i>Quercus hintoniorum</i>	Vulnerable	B2ab(iii)	2018
<i>Quercus meavei</i>	Vulnerable	B1ab(iii)+2ab(iii)	2019
<i>Quercus rubramenta</i>	Vulnerable	B1ab(iii)+2ab(iii)	2017
<i>Quercus tuitensis</i>	Vulnerable	D2	2018
<i>Quercus vicentensis</i>	Vulnerable	A2bc	2019



Nombre de la Especie	UICN Categoría de la Lista Roja	UICN Criterios de la Lista Roja	Año de Evaluación
<i>Quercus acherdophylla</i>	Datos Insuficientes	NA	2018
<i>Quercus aerea</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus barrancana</i>	Datos Insuficientes	NA	2015
<i>Quercus breedloveana</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus centenaria</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus coahuilensis</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus coffeicolor</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus deliquescens</i>	Datos Insuficientes	NA	2018
<i>Quercus ghiesbreghtii</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus gracilior</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus grahamii</i>	Datos Insuficientes	NA	2018
<i>Quercus ignaciensis</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus melissae</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus mexiae</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus opaca</i>	Datos Insuficientes	NA	2018
<i>Quercus paxtalensis</i>	Datos Insuficientes	NA	2018
<i>Quercus perpallida</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus porphyrogenita</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus rekonis</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus sarahmariae</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus supranitida</i>	Datos Insuficientes	NA	2018
<i>Quercus tinkhamii</i>	Datos Insuficientes	NA	2019
<i>Quercus toumeyii</i>	Datos Insuficientes	NA	2017
<i>Quercus toxicodendrifolia</i>	Datos Insuficientes	NA	2017
<i>Quercus trinitatis</i>	Datos Insuficientes	NA	2018
<i>Quercus undata</i>	Datos Insuficientes	NA	2020
<i>Quercus verde</i>	Datos Insuficientes	NA	2019



Quercus costaricensis (Fancisco Garin)



Quercus engelmannii (Dave Muffly)



DATOS DE RECOPIACIÓN *EX SITU*

Una vez al año, entre 2017 y 2022, se solicitaron datos de accesiones de *Quercus*, así como detalles de procedencia silvestre asociados, a colecciones *ex situ* de todo el mundo. Nos dirigimos a instituciones que informaron que poseen especies de encinos nativos de Estados Unidos y Mesoamérica en la base de datos BGCI PlantSearch (BGCI, 2022), miembros de GCCO, así como a nuestras redes profesionales. Consulte el Apéndice B para obtener una descripción detallada de los datos solicitados por año de encuesta.

Todos los datos de las muestras enviadas se compilaron, estandarizaron y filtraron en el lenguaje de programación, R (Versión 4.2.0; R Core Team, 2022) utilizando scripts adaptados de Beckman Bruns et al. (2023b). Refinamos aún más nuestro conjunto de datos para incluir solo registros de especies, excluyendo híbridos y cultivares. Cuando no se proporcionaron las coordenadas, geolocalizamos manualmente los puntos utilizando la descripción de la localidad. No intentamos geolocalizar puntos que incluyeran una descripción general de la localidad a nivel estatal o superior. Cuando las instituciones no informaron el número de individuos que representaban cada acceso, asumimos que el acceso consistía en un solo individuo. Como tal, la cantidad de plantas reportadas en colecciones *ex situ* es una estimación basada en los datos disponibles y representa la cantidad mínima de plantas en colecciones *ex situ*.

FUENTES DE DATOS *IN SITU*

Para crear un conjunto curado de puntos de datos que representen la distribución nativa conocida de cada especie objetivo, primero compilamos y estandarizamos una variedad de conjuntos de datos de puntos espaciales en R. Las fuentes de datos de puntos espaciales sin procesar para las 59 especies objetivo incluyen:

- **Global Biodiversity Information Facility (GBIF);** descargado en enero de 2023 (GBIF.org)
- **Consortios de herbarios,** descargado en enero de 2023 de SEINet Portal Network (<https://symbiota.org/seinet/>)
- **Herbarios regionales,** incluidos:
 - Universidad de San Carlos de Guatemala (USCG), descargado febrero de 2023
 - Universidad Nacional Autónoma de Honduras (TEFH), descargado en junio de 2023
 - Herbario del Jardín Botánico Universitario BUAP (HUAP), descargado en marzo de 2023
 - Museo Nacional de Costa Rica (CR), descargado febrero de 2023



Quercus macdougalii (Nelly Pacheco)

- Universidad de Panamá (PMA), descargado febrero de 2023
- Colegio de la Frontera Sur Herbarium (CH), descargado febrero de 2022
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Herbario (INEGI), descargado julio de 2021.
- Herbario Instituto de Ecología, A.C. (XAL), descargado febrero de 2022
- Herbario Isidro Palacios (SLPM) Universidad Autónoma de San Luis Potosí, descargado diciembre de 2021
- Escuela Agrícola Panamericana (EAP), descargado en marzo de 2022
- Museo de Historia Natural de El Salvador (MHES), descargado septiembre de 2022
- SERBO, A.C., descargado en marzo de 2022
- **iDigBio Integrated Digitized Biocollections;** descargado en enero de 2023 (idigbio.org)
- **La red nacional de parcelas de prospección forestal** gestionado por el Programa de Análisis e Inventario Forestal (FIA) del Servicio Forestal del USDA; descargado en enero de 2023 (fia.fs.fed.us/tools-data)
- **Tropicos;** descargado febrero de 2023 (<https://www.tropicos.org/home>)
- **Lista Roja de la UICN;** descargado en enero de 2023 (<https://www.iucnredlist.org/>)
- **Botanical Information and Ecology Network (BIEN);** descargado en enero de 2023 (<https://bien.nceas.ucsb.edu/bien/>)
- **Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO);** descargado en marzo de 2023 (<https://www.gob.mx/conabio>)
- **California Natural Diversity Database (CNDDB);** descargado en junio de 2023



- **Genesys**; descargado en noviembre de 2022 (<https://www.genesys-pgr.org/>)
- **FAO's World Information and Early Warning System (WIEWS)** sobre recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura; descargado en diciembre de 2022
- **Artículos publicados**
- **Comunicación con expertos**, incluidos registros de viajes de recolección y proyectos de investigación
- **Localidades de procedencia silvestre geolocalizadas** of de las accesiones de los estudios de colecciones ex situ de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.

CURACIÓN DE DATOS DE OCURRENCIA

Se combinaron todos los conjuntos de datos y se mapearon los datos de presencia de las especies objetivo utilizando el software estadístico R y el paquete 'leaflet' (Graul, 2016). Inicialmente, los puntos se marcaron para una revisión adicional utilizando el paquete R 'CoordinateCleaner' (Zizka et al., 2019) y, si era necesario, se eliminaron del conjunto de datos según las siguientes características: 1) registros dentro de 500 m de un centroide de país o estado, 2) registros dentro de 100 m de instituciones de biodiversidad, 3) registros fuera del área de distribución nativa de la especie según lo informado por la Lista Roja de la UICN y GlobalTreeSearch (BGCI, 2023), y/o 4) registros en países reportados en la Lista Roja de la UICN como parte de la rango de especies "introducidas". También eliminamos duplicados espaciales redondeando la latitud y la longitud a dos dígitos después del punto decimal, lo que elimina puntos separados por menos de aproximadamente 1 km. Además, realizamos una revisión de la literatura y consultamos con expertos para identificar un rango de elevación para cada especie, y eliminamos puntos que estaban muy fuera de ese rango. El mapa de ocurrencia de cada especie fue revisado en persona o virtualmente por un mínimo de dos expertos taxonómicos regionales de Quercus para mejorar aún más el conjunto de datos. Para las especies que cruzan la frontera hacia los Estados Unidos, hicimos que expertos dentro de los Estados Unidos revisaran esa parte del área de distribución de la especie.

Los registros de GBIF incluyen observaciones de grado de investigación de iNaturalist. Para las especies amenazadas, las coordenadas de iNaturalist se oscurecen con una incertidumbre de aproximadamente 500 km² para proteger la ubicación exacta del espécimen. Siguiendo el protocolo de iNaturalist, nos comunicamos con los observadores de nuestras especies objetivo para solicitarles que compartieran sus datos no ocultos. Si no recibimos las coordenadas ocultas, eliminamos el registro de nuestro conjunto de datos.

Si obtuvimos las coordenadas despejadas, un experto regional en Quercus revisó las fotografías de iNaturalist utilizadas para identificar la especie. Si estaban de acuerdo con la identificación, incluimos el registro en nuestro conjunto de datos. Si creían que la identificación era incorrecta o que no se podía realizar con certeza basándose únicamente en las fotografías, eliminamos el registro de nuestro conjunto de datos. Nuestro conjunto de datos final curado contenía 4424 registros.

ANÁLISIS ESPACIALES

Para cada especie objetivo, utilizamos puntos de ocurrencia *in situ*, así como registros de procedencia de ocurrencia silvestre geolocalizados de los estudios ex situ para calcular la cobertura geográfica y ecológica de las colecciones ex situ. La cobertura geográfica es la proporción del área de distribución nativa de una especie que está representada en las colecciones, mientras que la cobertura ecológica representa la proporción de zonas de vida o ecorregiones que están representadas en las colecciones. Para especies sin datos genéticos a nivel de población, estas son indicadores útiles para estimar la representación genética de colecciones ex situ (Hoban et al., 2018; Di Santo & Hamilton, 2020). Nos aproximamos al área de distribución nativa de una especie colocando zonas de amortiguamiento circulares con un radio de 20 km alrededor de cada punto de ocurrencia. Las zonas de amortiguamiento se recortaron para aterrizar cuando fue necesario. Análisis de vacíos anteriores han evaluado el área de distribución nativa mediante el uso de modelos de distribución de especies (Khoury et al., 2019), zonas de amortiguamiento de 20 km (Linsky et al., 2022a; 2022b) o zonas de amortiguamiento de 50 km (Beckman et al., 2019). Debido al rango limitado y la especificidad del hábitat de muchas de nuestras especies objetivo, determinamos que el método de zona de amortiguamiento de 20 km es el más apropiado e informativo.



Bosque de encino-pino, Nuevo León, México (The Morton Arboretum)



Quercus gulielmi-treleasei en Panamá (Roderick Cameron)

La cobertura geográfica de las colecciones *ex situ* se estimó dividiendo el área de amortiguamiento total alrededor de los puntos de recolección de procedencia silvestre *ex situ* por el área de amortiguamiento total alrededor de todos los puntos *in situ*. Los resultados de este análisis se utilizan como indicador de qué tan bien las colecciones *ex situ* representan el rango geográfico de la población nativa. La cobertura ecológica se calculó dividiendo el número total de ecorregiones bajo el área de amortiguamiento *ex situ* por el número total de ecorregiones bajo el área de amortiguamiento *in situ*. Los resultados de este análisis se utilizan como indicador de qué tan bien las colecciones *ex situ* representan el rango ecológico de la población nativa. Un aspecto innovador de este análisis de vacíos en relación con informes anteriores es el uso del sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge para definir ecorregiones. Desarrollada por primera vez por Leslie Holdridge en 1967 para su uso en los trópicos, esta herramienta de mapeo de ecosistemas se ha adaptado ampliamente en todo el mundo (Khatun et al., 2013; Missanjo et al., 2019; Derguy et al., 2022). El sistema de zonas de vida de Holdridge clasifica las áreas terrestres en función de las variables de precipitación, biotemperatura, índice de evapotranspiración, latitud y longitud. Las zonas de vida no pretenden reemplazar los microambientes y ecosistemas en los que se encuentran estas especies, sino que son lineamientos generales basados en las variables predictivas

antes mencionadas. Hay 38 zonas potenciales de vida en todo el mundo, que van desde desiertos polares hasta bosques tropicales. Mapeamos las zonas de vida de Holdridge de nuestra región de estudio utilizando datos bioclimáticos de WorldClim Versión 2.1 de 1970–2000 con una resolución de 30 segundos (aproximadamente 1 km²; Fick & Hijmans, 2017). Para calcular las zonas de vida de Holdridge y generar mapas utilizamos un script R desarrollado por Isabel Trejo y Ángela Cuervo de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México (Trejo & Cuervo, 2016).

RIQUEZA DE ESPECIES EN TRES RESOLUCIONES ESPACIALES

Analizamos la riqueza de especies en tres resoluciones espaciales diferentes: 1) a nivel de país, 2) a nivel estatal y 3) una cuadrícula de 50 x 50 km. Los datos sobre el país de origen de cada una de las 177 especies de encinos Mesoamericanos se obtuvieron de la Lista Roja de la UICN y de BGCI GlobalTreeSearch (BGCI, 2023), y se generaron mapas de calor a nivel de país en base a estos resultados. También generamos mapas de calor a nivel estatal únicamente para nuestras especies objetivo. Mapeamos los datos de presencia de especies objetivo, contamos el número de especies dentro de cada estado y creamos un mapa de calor basado en esos valores. Para lograr una resolución más fina, superpusimos los datos de ocurrencia con una cuadrícula de celdas de 50 km x 50 km ubicadas en toda la región de estudio y contamos el número de especies dentro de cada celda. Los mapas de calor a nivel de país y estado se generaron en R usando el paquete 'leaflet', y el mapa de celdas de la cuadrícula se generó en QGIS (Versión 3.28.3- Firenze).



Quercus engelmannii (Dave Muffly)

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los análisis de vacíos anteriores se han basado en la revisión de la literatura para clasificar el cambio climático como una amenaza de impacto alto, moderado o bajo para cada especie (Beckman et al., 2019). Aquí, presentamos un enfoque novedoso para evaluar cuantitativamente la vulnerabilidad al cambio climático para cada especie objetivo utilizando el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Además de mapear las zonas de vida de Holdridge utilizando datos bioclimáticos de 1970–2000, también mapeamos las zonas de vida usando datos de precipitación y temperatura pronosticados a partir de diez modelos diferentes de cambio climático para los años 2061–2080 (WorldClim, 2022; Tabla 2). Seleccionamos los modelos climáticos basándonos en aquellos que estaban disponibles en WorldClim Versión 2.1 con una resolución espacial de 30 segundos y teníamos datos para la Ruta Socioeconómica Compartida (Shared Socioeconomic Pathway o SSP en Inglés) 245. La ruta SSP245 se considera el escenario “intermedio del camino”, con un futuro moderado. emisiones de gases de efecto invernadero y un forzamiento radiativo adicional de 4.5 W/m² para 2100 (Hausfather, 2019).

Primero generamos el mapa de zonas de vida utilizando las variables bioclimáticas de 1970-2000 como punto de referencia. Superpusimos datos de ocurrencia en este mapa

y agregamos una zona de influencia de 20 km alrededor de cada punto para representar el área de distribución nativa inferida de la especie. Luego determinamos la zona de vida “preferida” de Holdridge para las especies identificando la zona de vida en la que se encontró el mayor número de puntos de ocurrencia. Calculamos el área en kilómetros cuadrados de la zona de vida preferida dentro del área de distribución nativa inferida de la especie. Esto representa el área actual de hábitat preferido para cada especie en condiciones de referencia. Luego repetimos este proceso para cada mapa de zonas de vida generado utilizando datos de uno de los diez modelos climáticos. Calculamos la diferencia porcentual entre el área de la zona de vida preferida en condiciones de referencia y el área de la zona de vida en condiciones de cambio climático. Finalmente, calculamos la diferencia porcentual promedio en los diez modelos climáticos para cada especie. Una diferencia porcentual positiva indica que se prevé que el área de la zona de vida preferida aumentará en escenarios climáticos futuros, y una diferencia porcentual negativa indica una disminución prevista en el área de la zona de vida. Cabe señalar que una disminución en el área de la zona de vida preferida no significa necesariamente que la especie ya no podrá sobrevivir en el nuevo entorno. También deberían explorarse mecanismos adicionales para cuantificar la vulnerabilidad al cambio climático, como la modelización de nichos ecológicos.

Tabla 2. Modelos de cambio climático que se utilizaron para generar mapas de la zona de vida de Holdridge con datos bioclimáticos reducidos previstos para los años 2061–2080 (WorldClim, 2022).

Nombre del Modelo	Centro Modelador	Referencia
ACCESS-CM2	Australian Community Climate and Earth System Simulator	Dix et al. (2019)
CMCC-ESM2	Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Peano et al. (2020)
EC-Earth3-Veg	EC-Earth-Consortium	EC-Earth Consortium (2019)
GISS-E2-1-G	National Aeronautics and Space Administration	NASA Goddard Institute for Space Studies (2018)
INM-CM5-0	Russian Academy of Science	Volodin et al. (2019)
IPSL-CM6A-LR	Institute Pierre Simon Laplace	Boucher et al. (2018)
MIROC6	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, RIKEN Center for Computational Science	Shiogama et al. (2019)
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meteorology	von Storch et al. (2017)
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute	Yukimoto et al. (2019)
UKESM1-0-LL	The UK Earth System Modelling project	Tang et al. (2019)

ÁREAS CLAVE PARA LA BIODIVERSIDAD

Áreas Clave para la Biodiversidad (Key Biodiversity Area o KBA en Inglés) son sitios que han sido identificados por contribuir significativamente a la persistencia de la biodiversidad global en todos los grupos taxonómicos y ecosistemas. Adoptadas originalmente por la UICN en 2016, las KBA actúan como un marco estandarizado con base científica para identificar los sitios terrestres, marinos y de agua dulce más importantes para conservar en el planeta (IUCN, 2016). Hasta la fecha, se han mapeado más de 16,300 KBA en todo el mundo. Estos mapas y sus datos asociados ayudan a guiar la expansión de áreas protegidas, informar la implementación y el monitoreo de acuerdos ambientales internacionales, centrar los esfuerzos de conservación en áreas con el mayor impacto potencial e informar la implementación, el diseño y el desarrollo de proyectos del sector privado. Para ser designado KBA, un sitio debe cumplir con un conjunto específico de criterios en una de cinco categorías diseñadas para capturar la biodiversidad a escala genética, de especies y de ecosistemas: 1) biodiversidad amenazada, 2) biodiversidad geográficamente restringida, 3) integridad ecológica, 4) procesos biológicos, o 5) irremplazabilidad. Estos criterios se basan principalmente en la presencia de una o más “especies desencadenantes”. Estas son especies que identifican una KBA activando el criterio de biodiversidad amenazada o de irremplazabilidad. Un sitio puede ser designado como KBA si contiene >0.5% del tamaño de la población global y >5 unidades reproductivas (Reproductive Unit o RU en Inglés) de una especie En Peligro Crítico o En Peligro de extinción (IUCN, 2016). Las especies Vulnerables también se pueden utilizar para activar una KBA si el sitio contiene >1% del tamaño de la población global y >10 RU de dichas especies.

Actualmente existen 280 KBAs solo en México, y se utilizan 541 especies desencadenantes de plantas y animales para designar estas KBA (KBA, 2023). Hasta esta fecha, no se han utilizado encinos como especies desencadenantes de KBA en Mesoamérica. Mapeamos los puntos de ocurrencia silvestre de todas las especies de encinos amenazadas en Mesoamérica superpuestos con un mapa de KBA para identificar especies que potencialmente podrían agregarse como desencadenantes de KBA existentes, así como especies que podrían usarse para designar nuevas KBA.

AMENAZAS Y ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN

Esta sección se basa en las amenazas identificadas en la Lista Roja de Encinos 2020 (Carrero et al., 2020). Además de las amenazas ahí identificadas para cada especie, realizamos una revisión de la literatura adicional y entrevistamos a expertos

regionales en especies del género. Con base en esta información, identificamos las amenazas más urgentes que enfrenta cada una de las 32 especies enumeradas como En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerable en la Lista Roja de la UICN. Debido a que hay muy poca información sobre las amenazas que enfrentan las especies con Datos Insuficientes, centramos nuestro análisis en aquellas actualmente evaluadas como amenazadas. Asignamos las amenazas en alguna de las diez categorías de acuerdo al Esquema de clasificación de amenazas (Versión 3.2) de la Lista Roja de la UICN (Conservation Measures Partnership, 2016) y el Análisis de Vacíos de Conservación de los Encinos Nativos de EE. UU. (Beckman et al., 2019):

- Uso humano de especies: recolección silvestre
- Uso humano del paisaje: agricultura, silvicultura, ganadería, pastoreo
- Uso humano del paisaje: desarrollo residencial/comercial, minería, carreteras
- Uso humano del paisaje: turismo, recreación
- Modificación humana de los sistemas naturales: alteración de los regímenes de fuego, contaminación, erradicación
- Modificación humana de los sistemas naturales: competencia/perturbación de especies invasoras
- Cambio climático: cambio de hábitat, sequía, temperaturas extremas, inundaciones
- Pérdida de material genético: endogamia, introgresión
- Plagas/patógenos
- Poblaciones extremadamente pequeñas/restringidas

También identificamos las actividades de conservación actualmente en marcha para cada especie amenazada con base en las categorías descritas en Beckman et al. (2019). Consideramos que la protección de la tierra es una actividad de conservación si al menos el 30% del área de distribución nativa inferida de la especie estaba cubierta por áreas protegidas. Para las especies transfronterizas, se consideró que se implementaron actividades de conservación para la especie si ocurrieron en cualquier lugar dentro de su área de distribución. Para cada especie, también preguntamos a los expertos regionales qué actividad o actividades consideran la prioridad de conservación más urgente.

- Protección de la tierra
- Gestión sostenible de la tierra
- Monitoreo de población/encuestas de ocurrencia
- Colecta silvestre/curación *ex situ*
- Programas de propagación/mejoramiento
- Reintroducción/refuerzo/translocación
- Investigación
- Educación/divulgación/formación
- Políticas de protección de especies



PUNTAJE DE ACCIÓN DE CONSERVACIÓN

Con tantas especies que necesitan medidas de conservación y ante el tiempo y los recursos limitados, es necesario priorizar las especies en función de la necesidad más urgente. Se han propuesto muchos métodos diferentes para establecer prioridades de conservación. Los métodos de priorización a nivel de especie generalmente se clasifican en una de tres categorías: métodos de puntuación, métodos basados en reglas o métodos de clasificación del estado de conservación (Mace et al., 2006; Le Berre et al., 2019). En los métodos de puntuación, se asigna una puntuación a cada especie basándose en un conjunto de criterios cuantitativos para diferentes parámetros. Por lo general, las puntuaciones se suman y las especies se clasifican según su puntuación final. Un ejemplo de método de puntuación es el Puntaje de Acción de Conservación (Khoury et al., 2020). La Puntuación de Acción de Conservación clasifica los taxones para acciones de conservación adicionales en función de tres parámetros centrados en la cobertura de áreas protegidas (puntuaciones *in situ*) y tres parámetros centrados en la representación geográfica/ecológica de colecciones *ex situ* (puntuaciones *ex situ*). Cuando se considera junto con los datos de amenazas de las evaluaciones de la Lista Roja de la UICN, el Puntaje de Acción de Conservación es una herramienta valiosa para dirigir y priorizar los esfuerzos de conservación.

Para cada especie objetivo, calculamos una puntuación de acción de conservación para priorizar las especies para los esfuerzos de conservación *ex situ* e *in situ* adaptando los métodos descritos en Khoury et al. (2020). Las puntuaciones se dividieron en dos categorías: las relacionadas con poblaciones *in situ* y las relacionadas con poblaciones *ex situ*.



Quercus dumosa (Maricela Rodríguez-Acosta)

Las puntuaciones *in situ* proporcionan mediciones geográficas y ecológicas de la proporción del área de distribución de una especie que se conserva en áreas protegidas. Las puntuaciones *ex situ* proporcionan mediciones geográficas y ecológicas de la proporción del área de distribución de una especie que se conserva en colecciones *ex situ*. Todas las puntuaciones oscilan entre 0–100, donde una puntuación de 100 indica una conservación completa y una puntuación de 0 indica una conservación extremadamente deficiente. Luego se calculó un puntaje de conservación final combinado tomando el promedio del puntaje de conservación final *in situ* y el puntaje de conservación final *ex situ* para cada especie.

Puntuaciones *In Situ*

- **Puntuación de Representatividad del Muestreo *In Situ* (PRM *In Situ*):** El número de puntos de ocurrencia que se encuentran dentro de áreas protegidas dividido por el número total de puntos de ocurrencia.
- **Puntuación de Representatividad Geográfica *In Situ* (PRG *In Situ*):** El área de distribución nativa inferida de una especie que está cubierta por áreas protegidas dividida por el área total del área de distribución nativa inferida de una especie.
- **Puntuación de Representatividad Ecológica *In Situ* (PRE *In Situ*):** El número de zonas de vida de Holdridge dentro del área de distribución nativa inferida de una especie que se encuentra dentro de áreas protegidas dividido por el número de zonas de vida de Holdridge dentro del área de distribución nativa inferida de la especie.
- **Puntuación Final de Conservación *In Situ* (PFC *In Situ*):** La media de todas las puntuaciones *In Situ*.

Puntuaciones *Ex Situ*

- **Puntuación de Representatividad del Muestreo *Ex Situ* (PRM *Ex Situ*):** El número de instituciones *ex situ* que poseen al menos una accesión de procedencia silvestre de la especie objetivo, hasta un máximo de 10. Las puntuaciones finales del PRM *Ex Situ* se multiplicaron por 10 para lograr una escala de 0–100.
- **Puntaje de Representatividad Geográfica *Ex Situ* (PRG *Ex Situ*):** El área de la zona de amortiguamiento que rodea todos los puntos *ex situ* dividida por el área de distribución nativa inferida de la especie.
- **Puntaje de Representatividad Ecológica *Ex Situ* (PRE *Ex Situ*):** El número de zonas de vida de Holdridge en la zona de influencia que rodea todos los puntos *ex situ* dividido por el número de zonas de vida de Holdridge en el área de distribución nativa inferida de la especie.
- **Puntuación Final de Conservación *Ex Situ* (PFC *Ex Situ*):** La media de todas las puntuaciones *Ex Situ*.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Quercus agrifolia (Jesús Serrano)

RIQUEZA DE ESPECIES EN TRES RESOLUCIONES ESPACIALES

México es el centro de diversidad de encino en Mesoamérica, con un estimado de 164 especies (Figura 1). En general, la diversidad de encinos disminuye a medida que se avanza hacia el sureste de México hacia Centroamérica. Guatemala tiene el segundo mayor número de especies de encino con 28, seguida de Honduras (22), El Salvador (18), Costa Rica (14), Nicaragua (13), Belice (12) y Panamá (12). Aunque está fuera de nuestro rango de estudio, es importante señalar que también hay una especie de encino en Colombia (*Q. humboldtii*), que es la única especie de encino en América del Sur y actualmente está evaluada como de Preocupación Menor. Esta especie también se encuentra en Panamá.

Los dos estados de México con mayor riqueza de especies objetivo (amenazadas y con Datos Insuficientes) son Puebla y Nuevo León con 12 cada uno, seguidos de cinco estados que tienen 10 especies objetivo: Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo, Oaxaca y Jalisco (Figura 2A). En los demás países

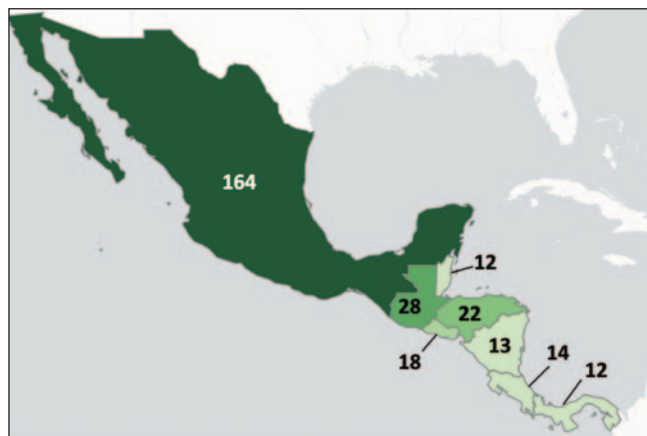


Figura 1. Riqueza de especies de encinos nativos de Mesoamérica por país.

Mesoamericanos, todos los estados tienen de 0–4 especies objetivo, con la excepción de los estados de Huehuetenango y Baja Verapaz en Guatemala, que tienen cinco cada uno (Figuras 2B–H). Consulte el Apéndice C para obtener una lista de especies objetivo por estado para cada país.



Hábitat de *Quercus macdougalii* (Nelly Pacheco)

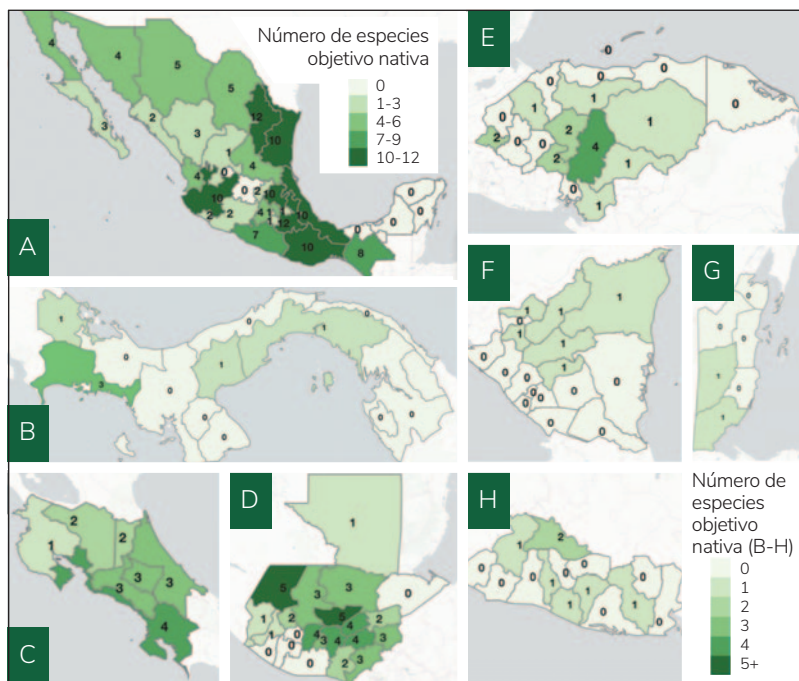


Figura 2. Riqueza a nivel estatal de 59 especies objetivo en A) México, B) Panamá, C) Costa Rica, D) Guatemala, E) Honduras, F) Nicaragua, G) Belice y H) El Salvador. Las especies objetivo se refieren a especies que están evaluadas como amenazadas o con Datos Insuficientes.

De nuestras especies objetivo, el 71% (42 de 59) son endémicas de México: una especie En Peligro Crítico (*Q. mulleri*), 14 especies En Peligro (*Q. brandegeei*, *Q. cualensis*, *Q. delgadoana*, *Q. devia*, *Q. diversifolia*, *Q. flocculenta*, *Q. galeanensis*, *Q. hintonii*, *Q. hirtifolia*, *Q. macdougallii*, *Q. miquihuanensis*, *Q. nixoniana*, *Q. radiata* y *Q. runcinatifolia*), cinco especies Vulnerables (*Q. hintoniorum*, *Q. meavei*, *Q. rubramenta*, *Q. tuitensis* y *Q. verde*) y 22 especies con Datos Insuficientes (*Q. acherdophylla*, *Q. aerea*, *Q. barrancana*, *Q. breedloveana*, *Q. centenaria*, *Q. coahuilensis*, *Q. coffeicolor*, *Q. deliquescens*, *Q. ghiesbreghtii*, *Q. grahamii*, *Q. ignaciensis*, *Q. mexiae*, *Q. opaca*, *Q. perpallida*, *Q. porphyrogenita*, *Q. rekonis*,



Quercus dumosa (Roderick Cameron)



Quercus cualensis
(M.C. Luz María González Villarreal)

Q. supranitida, *Q. tinkhamii*, *Q. toxicodendrifolia*, *Q. trinitatis*, *Q. undata* y *Q. verde*). Sólo tres de nuestras especies objetivo son endémicas de Centroamérica: *Q. costaricensis*, *Q. sarahmariae* y *Q. gracilior*. Hay ocho especies que se encuentran tanto en Estados Unidos como en México: *Q. ajoensis*, *Q. carmenensis*, *Q. cedrosensis*, *Q. dumosa*, *Q. engelmannii*, *Q. graciliformis*, *Q. tomentella* y *Q. toumeyii*.

Además, dividimos la región de estudio en celdas de 50 km² para cuantificar la riqueza de especies en una escala más fina. La región con la mayor concentración de encinos amenazados y con Datos Insuficientes es la Sierra Madre Oriental (21 especies, 36%), seguida por la Eje Volcánico Transversal (16 especies, 27%; Figura 3). La Sierra Madre Oriental ha sido reconocida como la región de encino más diversa de México, tanto para especies amenazadas como no amenazadas (Valencia-A, 2010). En esta sierra se pueden encontrar muchas especies diferentes de encinos en un área relativamente pequeña. Por ejemplo, el 20% de nuestras especies objetivo se encuentran dentro de un área de 50 km² en el norte de la Sierra Madre Oriental, aproximadamente a 100 km al sur de Monterrey. La notable diversidad de esta región probablemente sea el resultado de una combinación de su historia geológica, oportunidades ecológicas y heterogeneidad del paisaje, que puede sustentar muchos nichos y promover la diversificación (Althaus et al., en preparación; Hipp et al., 2018).

COLECCIONES EX SITU

Un total de 273 instituciones de 32 países presentaron datos de accesos de *Quercus* en respuesta a nuestra solicitud de información sobre sus colecciones ex situ de 2017 a 2022. De ellas, 197 instituciones (72%) en 27 países informaron accesos de al menos una especie de encino Mesoamericano nativo (Figura 4). Sorprendentemente, sólo nueve (5%) instituciones ubicadas dentro de Mesoamérica informaron tener una o más especies de encino Mesoamericano en su colección. La mayoría de las instituciones que informan sobre encinos Mesoamericanos se encuentran en Estados Unidos (96 instituciones, 49%) y Europa (63, 32%). Los resultados son similares para los encinos Mesoamericanos amenazados y con Datos Insuficientes, y la mayoría de las colecciones de estas especies se llevan a cabo en los Estados Unidos y Europa (Figura 5). Las dos especies objetivo con mayor representación en colecciones ex situ dentro de Mesoamérica son *Q. insignis* y *Q. brandegeei* (cuatro instituciones cada una), seguidas por *Q. acutifolia* (tres instituciones). Sólo el 29% (17 de 59) de las especies objetivo se encuentran en colecciones ex situ dentro de su país de origen (Tabla 3), por lo que existe

una necesidad urgente de aumentar la representación ex situ de especies raras y amenazadas de encinos Mesoamericanos entre las colecciones vivas de la región. Esto es particularmente importante tomando en cuenta que los encinos no pueden almacenarse ni conservarse mediante métodos convencionales. Este es uno de los objetivos de la GCCO. *Quercus insignis* y *Q. brandegeei* son dos de las especies objetivo para las cuales la GCCO ha promovido la conservación ex situ, con especies adicionales planificadas para el futuro (ver Caso de Estudio 1, página 31).



Plántulas de *Quercus brandegeei* en un vivero casero en Santiago, Baja California Sur, México (The Morton Arboretum)

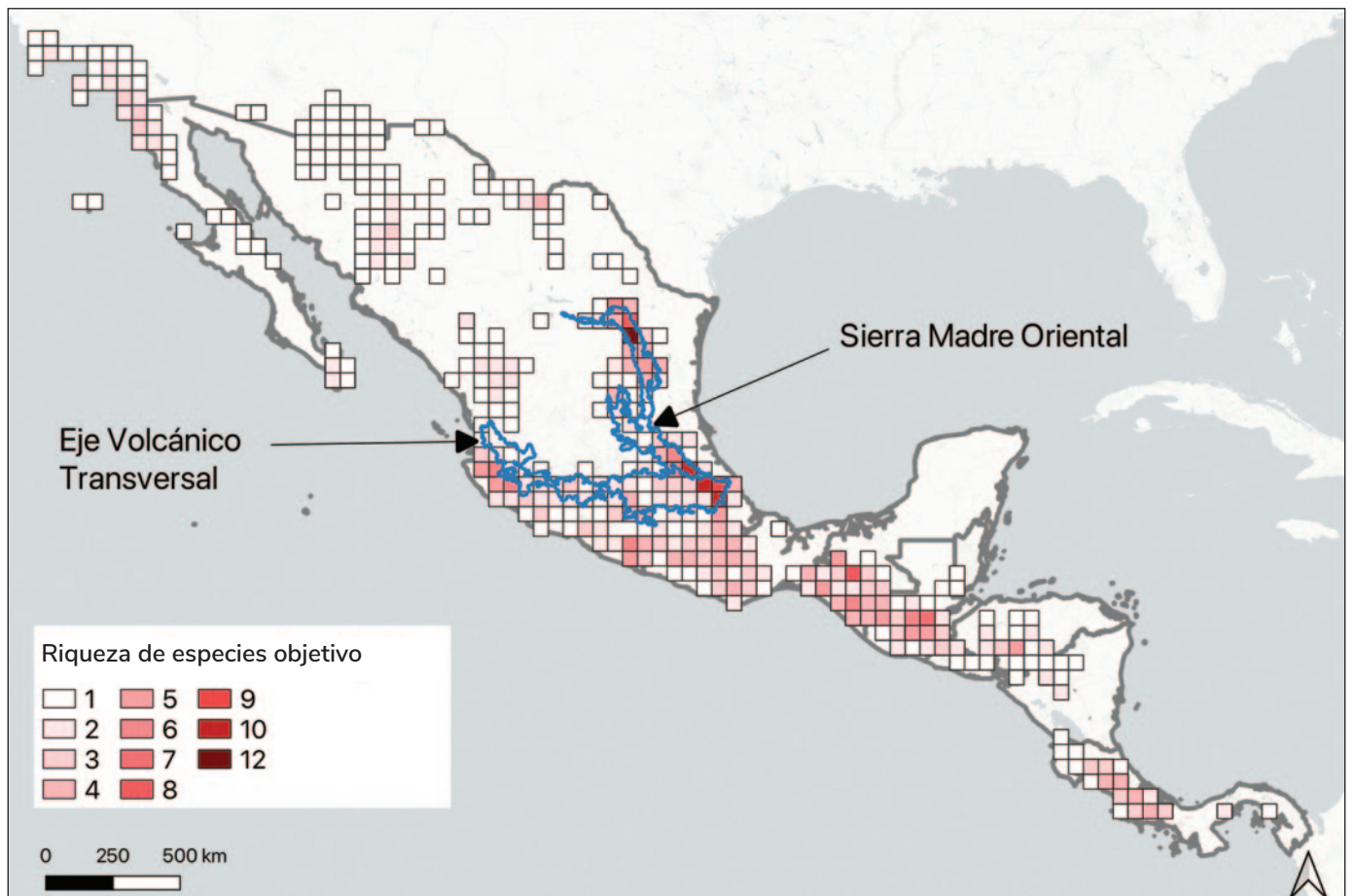


Figura 3. Riqueza de especies objetivo por 50 km². Las delimitaciones de la Sierra Madre Oriental y el Eje Volcánico Transversal están delineadas en azul (Morrone et al., 2017).



Figura 4. Instituciones que respondieron a nuestra encuesta ex situ e informaron tener accesiones de al menos una especie de encino Mesoamericano.

Aunque la mayoría de las colecciones se mantienen fuera del área de distribución nativa de la especie, las especies de encinos Mesoamericanos amenazadas y con Datos Insuficientes están representadas por al menos 3875 plantas que viven en colecciones ex situ a nivel mundial. Las especies con más plantas viviendo en colecciones ex situ son *Q. engelmannii* (2604 individuos), *Q. dumosa* (359) y *Q. graciliformis* (189; Figura 6). Una gran mayoría de encinos amenazados o con Datos Insuficientes están representados por menos de 100 plantas en colecciones ex situ (56 especies, 95%). De las 34 especies que se encuentran en colecciones ex situ de procedencia silvestre, el 62% se encuentran en colecciones de 10 individuos o menos. Para la mayoría de las plantas en colecciones ex situ, el origen era desconocido o no se proporcionó (1606 individuos, 41%). Sólo el 26% de las plantas están documentadas como de origen silvestre, y aproximadamente el 24% de ellas no tienen información de origen o no pudieron geolocalizarse. La información de procedencia es crucial para evaluar la representación genética de la colección y en caso de que sea necesario utilizar plantas como fuente de germoplasma en el futuro (Wood et al., 2020). Hay 22 especies objetivo de encino Mesoamericano que no se encuentran en ninguna institución ex situ en ningún lugar del mundo, según los resultados de nuestros estudios ex situ de 2017–2022. Estas incluyen seis especies amenazadas (*Q. devia*, *Q. mulleri*, *Q. nixoniana*, *Q. radiata*, *Q. rubramenta*, *Q. tuitensis*) y 16 especies con Datos Insuficientes (*Q. aerea*, *Q. breedloveana*, *Q. centenaria*, *Q. coahuilensis*, *Q. ghiesbreghtii*, *Q. gracilior*, *Q. ignaciensis*, *Q. melissae*, *Q. mexiae*, *Q. paxtalensis*, *Q. perpallida*, *Q. rekonis*, *Q. sarahmariae*, *Q.*

supranitida, *Q. undata*, *Q. verde*). Cabe señalar que conocemos dos especies que se agregaron a las colecciones ex situ en 2023. Debido a que estos eventos ocurrieron después de nuestro último estudio ex situ, no se reflejan en los resultados. *Quercus paxtalensis* se agregó a la colección satélite del Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (JBU-BUAP) en Teziutlán, Puebla en el año 2023. Además, durante el último año *Q. rubramenta* ha sido el foco de un gran esfuerzo de recolección silvestre por Profauna Región Norte, International Oak Society (IOS) y JBU-BUAP, con planes de distribuir esta especie a colecciones ex situ dentro de México, así como reintroducirla en el medio silvestre. Consulte el Caso de Estudio 4 (página 45) para obtener más información sobre *Q. rubramenta*.



Plántulas de *Quercus engelmannii* en el Zoológico de San Diego

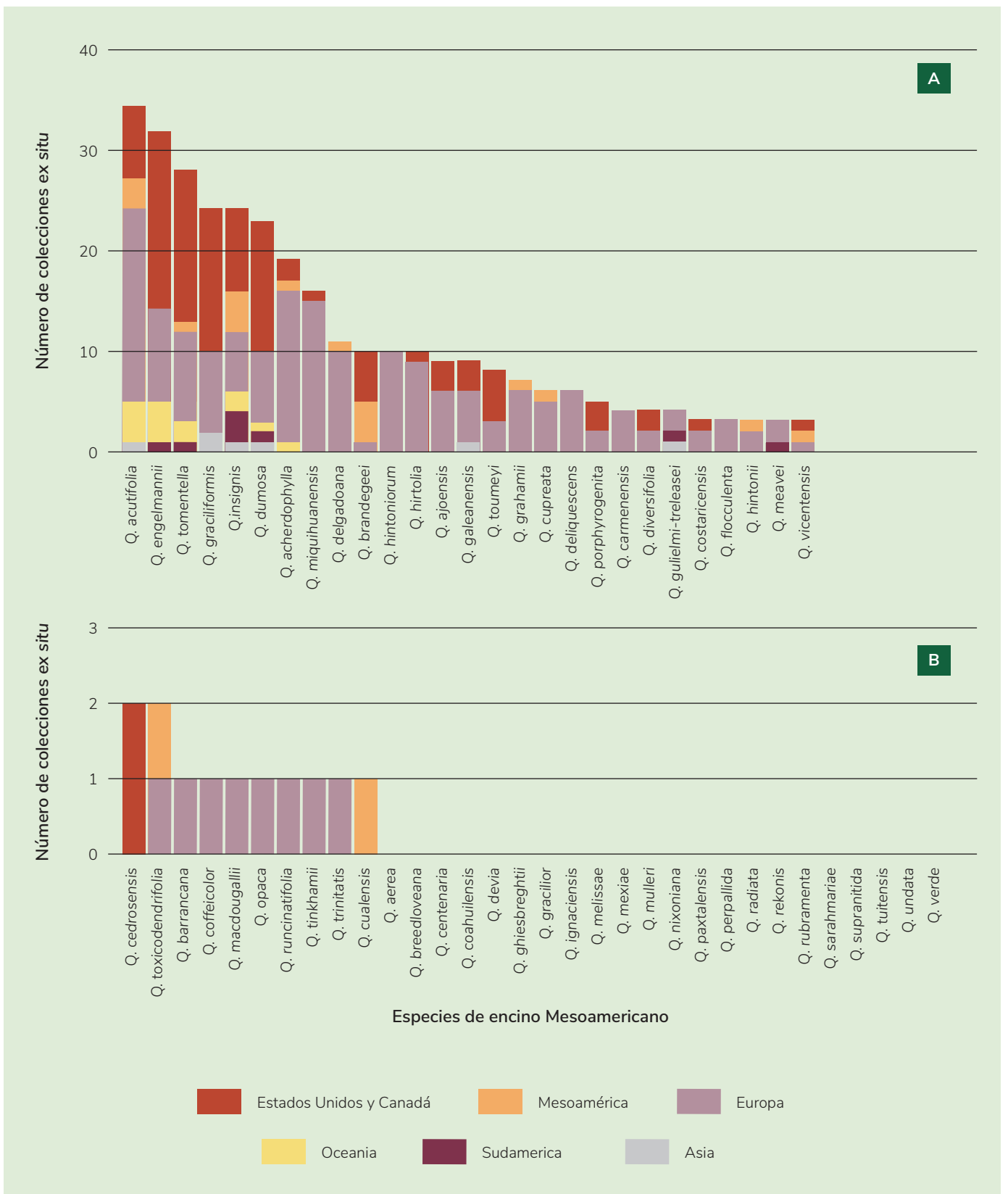


Figura 5. Número de colecciones ex situ de especies objetivo de encino Mesoamericano, clasificadas por ubicación de colección ex situ para A) especies en 3 o más colecciones ex situ y B) especies en dos o menos colecciones ex situ. Las “colecciones ex situ” se utilizan como equivalente a “colecciones vivas”. Observe el cambio en el eje Y.

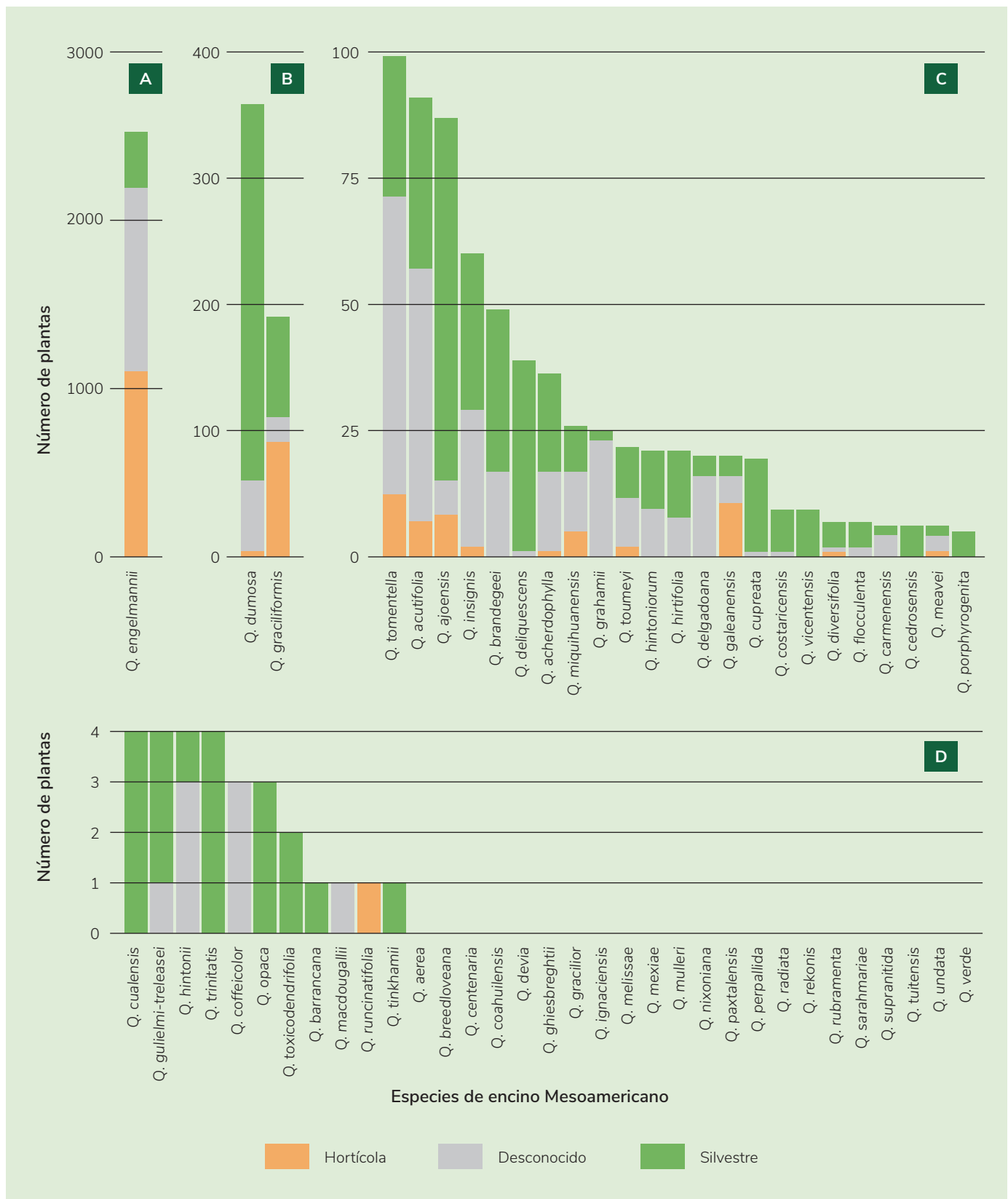


Figura 6. Resultados del estudio de colecciones ex situ para especies Mesoamericanas objetivo: número de plantas por especie en ex situ colecciones, categorizadas por tipo de procedencia para especies (A, B y C) con más de cuatro plantas en colecciones ex situ, y D) especies con cuatro o menos plantas en colecciones ex situ. Observe el cambio en el eje Y. Consulte el Apéndice E para conocer el número exacto de plantas en colecciones ex situ.

Tabla 3. País de origen de cada especie objetivo y número de instituciones que poseen colecciones vivas de la especie tanto dentro como fuera del país de origen.

Especies	País nativo	Número de instituciones ex situ	
		En país nativo	No en país nativo
<i>Q. engelmannii</i>	MX; US	18	14
<i>Q. tomentella</i>	MX; US	16	12
<i>Q. graciliformis</i>	MX; US	14	10
<i>Q. dumosa</i>	MX; US	13	10
<i>Q. toumeyii</i>	MX; US	5	3
<i>Q. insignis</i>	BZ; CR; SV; GA; HA; MX; NI; PA	4	20
<i>Q. brandegeei</i>	MX	4	6
<i>Q. acutifolia</i>	BZ; GA; HA; MX	3	31
<i>Q. ajoensis</i>	MX; US	3	6
<i>Q. cedrosensis</i>	MX; US	2	1
<i>Q. delgadoana</i>	MX	1	10
<i>Q. grahamii</i>	MX	1	6
<i>Q. cupreata</i>	MX	1	5
<i>Q. hintonii</i>	MX	1	2
<i>Q. vicentensis</i>	SV; MX	1	2
<i>Q. toxicodendrifolia</i>	MX	1	1
<i>Q. cualensis</i>	MX	1	0
<i>Q. acherdophylla</i>	MX	0	19
<i>Q. miquihuanensis</i>	MX	0	16
<i>Q. hintoniorum</i>	MX	0	10
<i>Q. hirtifolia</i>	MX	0	10
<i>Q. galeanensis</i>	MX	0	9
<i>Q. deliquescens</i>	MX	0	6
<i>Q. carmenensis</i>	MX; US	0	4
<i>Q. diversifolia</i>	MX	0	4
<i>Q. gulielmi-treleasei</i>	MX; CR; PA	0	4
<i>Q. porphyrogenita</i>	MX	0	4
<i>Q. costaricensis</i>	CR; PA	0	3
<i>Q. flocculenta</i>	MX	0	3
<i>Q. meavei</i>	MX	0	3
<i>Q. barrancana</i>	MX	0	1
<i>Q. coffeicolor</i>	MX	0	1
<i>Q. macdougallii</i>	MX	0	1
<i>Q. opaca</i>	MX	0	1
<i>Q. runcinatifolia</i>	MX	0	1
<i>Q. tinkhamii</i>	MX	0	1
<i>Q. trinitatis</i>	SV; MX	0	1
<i>Q. aerea</i>	MX	0	0
<i>Q. breedloveana</i>	MX	0	0
<i>Q. centenaria</i>	MX	0	0
<i>Q. coahuilensis</i>	MX	0	0



Plántulas de encino listas para esfuerzos de conservación *in situ* y *ex situ* en un invernadero del Jardín Botánico de la Universidad de Puebla (The Morton Arboretum)



Nuevo crecimiento en una plántula de *Quercus insignis*, de alrededor de dos años de edad (The Morton Arboretum)

Tabla 3: continuación

Especies	País nativo	Número de instituciones ex situ	
		En país nativo	No en país nativo
<i>Q. devia</i>	MX	0	0
<i>Q. ghiesbreghtii</i>	MX	0	0
<i>Q. gracilior</i>	HA; NI	0	0
<i>Q. ignaciensis</i>	MX	0	0
<i>Q. melissae</i>	GA; MX	0	0
<i>Q. mexiae</i>	MX	0	0
<i>Q. mulleri</i>	MX	0	0
<i>Q. nixoniana</i>	MX	0	0
<i>Q. paxtalensis</i>	MX	0	0
<i>Q. perpallida</i>	MX	0	0
<i>Q. radiata</i>	MX	0	0
<i>Q. rekonis</i>	MX	0	0
<i>Q. rubramenta</i>	MX	0	0
<i>Q. sarahmariae</i>	CR; PA	0	0
<i>Q. supranitida</i>	MX	0	0
<i>Q. tuitensis</i>	MX	0	0
<i>Q. undata</i>	MX	0	0
<i>Q. verde</i>	MX	0	0



Quercus peninsularis en Baja California, México (Roderick Cameron)

ANÁLISIS ESPACIALES EX SITU

El salvaguardar especies amenazadas en colecciones vivas ex situ se reconoce cada vez más como una herramienta crucial para prevenir la pérdida de biodiversidad, especialmente frente a las crecientes amenazas del cambio climático y la degradación del hábitat (Westwood et al., 2021). El valor de conservación de las colecciones vivas depende en gran medida de la cantidad de diversidad genética capturada dentro de dichas colecciones. Sin embargo, las especies raras suelen carecer de los estudios moleculares detallados necesarios para determinar si la diversidad genética de una colección es representativa de la población silvestre, especialmente en regiones poco estudiadas como Mesoamérica. En ausencia de datos genéticos, utilizamos dos indicadores para identificar el grado en que las colecciones ex situ representan la diversidad genética en la naturaleza: cobertura geográfica y cobertura ecológica. Estos sustitutos suponen que para capturar el espectro completo de la diversidad genética de una especie, se deben tomar muestras en todo el rango de distribución nativa de una especie, así como dentro de todas las ecorregiones en las que se encuentra la especie. Aquí utilizamos zonas de amortiguamiento de 20 km alrededor de cada punto de ocurrencia para representar el área de distribución nativa de una especie, pero esto es sólo una estimación que debe interpretarse con cautela. La diversidad genética se distribuye

de manera diferente en el espacio dependiendo de muchos factores, como las características del ciclo de vida de la especie, el rango histórico de la especie y las variables ambientales (Hoban et al., 2022). Además, cabe señalar que nuestros puntos de recolección ex situ podrían representar una colección compuesta por cientos de plantas o por solo un individuo que vive en una colección ex situ. Estudios recientes han demostrado que puede ser necesario tomar muestras de semillas de cientos a más de mil individuos en todo el rango de distribución de una especie para preservar la diversidad genética y el potencial evolutivo (Hoban, 2019). Sin embargo, los análisis espaciales presentados aquí proporcionan una herramienta eficaz para priorizar especies, regiones geográficas y ecorregiones para futuros trabajos de recolección. Tomemos el ejemplo de *Q. hintoniorum* (Figura 7). Las colecciones vivas de esta especie provienen de cuatro ubicaciones en la parte norte del área de distribución de esta especie (representadas por los triángulos negros en el mapa de la Figura 7). Esto da como resultado una cobertura geográfica del 23%. Hay cinco zonas de vida de Holdridge en la distribución nativa estimada de la especie, y las cinco zonas de vida están representadas en colecciones ex situ. Esto da como resultado una cobertura ecológica del 100%. Lo ideal sería que los futuros esfuerzos de recolección silvestre de *Q. hintoniorum* se centrarán en la parte sur del área de distribución de esta especie.

La representación de una especie en colecciones *ex situ* puede derivar de muchos factores, incluido el tamaño del área de distribución, la fenología de la especie y la abundancia relativa de la especie (BGCI, 2014). Encontramos que veinte especies de encinos Mesoamericanos tienen una cobertura geográfica de menos del 25% y se estimó que sólo tres especies tienen colecciones *ex situ* que representan más del 50% del rango geográfico completo de la especie: *Q. brandegeei* (63%), *Q. tomentella* (61%) y *Q. cualensis* (57%). Dentro de los Estados Unidos, *Q. tomentella* se encuentra en cuatro islas frente a la costa del sur de California, y hay individuos vivos en colecciones *ex situ* que se originan en tres de cada cuatro de esas islas. Hay informes no verificados de colecciones *ex situ* originadas en la Isla Guadalupe en México, pero estos datos no fueron capturados en nuestros estudios *ex situ* y no se reflejan en nuestros resultados. *Quercus brandegeei* tiene una distribución muy restringida en la Región del Cabo en el extremo sur de la península de Baja California, México. Esta especie ha sido recolectada en siete lugares diferentes dentro de esta región, y actualmente hay 10 instituciones *ex situ* que informan sobre colecciones de esta especie (Morton Arboretum, 2023). *Quercus cualensis* tiene un rango geográfico aún más restringido que *Q. brandegeei* y, como tal, una sola colección del centro del rango de esta especie da como resultado un porcentaje relativamente alto del rango de la especie reflejado en una colección.

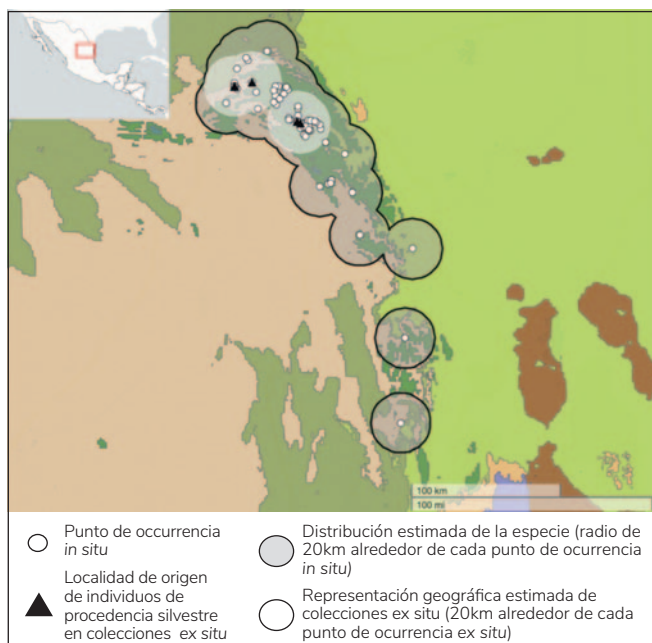


Figura 7. Puntos de ocurrencia silvestre de *Quercus hintoniorum* y localidades de origen de la recolección *ex situ*. Las regiones coloreadas son zonas de vida de Holdridge. Todas las localidades de origen de la recolección *ex situ* también son puntos de ocurrencia silvestre. Consulte el Apéndice D para obtener la clave de Holdridge Life Zone.

Para las 59 especies objetivo, con dos excepciones, la cobertura ecológica es mayor que la cobertura geográfica. Una excepción es *Q. tomentella*, que tiene una cobertura ecológica de sólo el 20% (en comparación con una cobertura geográfica del 61%; consulte la Figura 4 en Perfil de Especies, página 305). Esto se debe a que todas las islas de las que existen colecciones *ex situ* se encuentran en la misma zona de vida: matorral espinoso templado cálido. Actualmente no existen colecciones de la isla San Clemente, California o la isla Guadalupe, México y, por lo tanto, no se conservan las zonas de vida únicas en estas islas. La segunda excepción es *Q. cualensis*, con una cobertura ecológica del 50% (en comparación con una cobertura geográfica del 57%; ver Figura 4 en Perfil de Especies, página 121). Dos de las cuatro zonas de vida dentro del rango nativo inferido de esta especie no están representadas en colecciones *ex situ*. Sin embargo, estas dos zonas de vida se encuentran en el límite del área de distribución de la especie cerca de la costa y es posible que no reflejen con precisión el hábitat en el que realmente se encuentra esta especie. De las 37 especies que se mantienen en colecciones *ex situ*, hay ocho que tienen una cobertura ecológica inferior al 50%. Suelen ser especies con una distribución muy amplia que habitan en muchas zonas de vida diferentes (p. ej., *Q. acutifolia*, 47% de cobertura ecológica), o especies subrepresentadas *ex situ* que habitan en regiones montañosas en las que se encuentran varias zonas de vida diferentes dentro de un área pequeña (p. ej., *Q. meavei*, 45% de cobertura ecológica).

Hay cinco especies que tienen una cobertura ecológica del 100%: *Q. hintoniorum*, *Q. engelmannii*, *Q. deliquescens*, *Q. carmenensis* y *Q. brandegeei*. *Quercus engelmannii* ha sido muestreado en varios lugares diferentes a lo largo del área de distribución de la especie en California. A pesar de que no hay colecciones *ex situ* originarias de México, la población mexicana se encuentra dentro del matorral espinoso templado cálido, que está representado en colecciones *ex situ* de muestras originarias de California. De manera similar, *Q. brandegeei* ha sido recolectada en varios lugares a lo largo de su área de distribución en el sur de Baja California Sur, y todas las ecorregiones están representadas *ex situ*. *Quercus deliquescens* y *Q. carmenensis* se encuentran principalmente en la zona de vida de matorral espinoso templado cálido, que es una de las zonas de vida más grandes por área total en Mesoamérica (Apéndice D). Debido a que esta zona de vida es tan grande, se puede recolectar en relativamente pocos lugares y aún así lograr una cobertura ecológica del 100%. Finalmente, aunque *Q. hintoniorum* sólo se ha recolectado en la parte norte de su área de distribución, las cinco zonas de vida dentro del área de distribución total están representadas en esta pequeña área, lo que resulta en una cobertura ecológica del 100%.

Tabla 4. Número total de áreas protegidas y proporción de cobertura de áreas protegidas para cada país de Mesoamérica.

	Belice	Panamá	Costa Rica	Honduras	Nicaragua	Guatemala	México	El Salvador
Número total de áreas protegidas *	120	114	167	118	84	352	1185	202
Cobertura porcentual de áreas protegidas	37.55%	31.37%	26.59%	23.45%	21.35%	20.12%	14.60%	8.64%

* Nota: según la *World Database on Protected Areas (WDPA)*, “Algunas ubicaciones geográficas están designadas en más de una vez, por ejemplo, como Parque Nacional (una designación nacional) y Sitio de Patrimonio Mundial (una designación internacional). En la WDPA, estas designaciones se cuentan como áreas protegidas separadas, lo que significa que este número podría parecer mayor de lo esperado”. (UNEP-WCMC & IUCN, 2023)

En resumen, la representación de la cobertura ecológica depende del número de ecorregiones que habita la especie, así como del área general de la ecorregión. El muestreo dentro de todas las ecorregiones en las que se encuentra una especie es una forma de intentar representar el espectro completo de la diversidad geográfica en colecciones *ex situ*. Sin embargo, cabe señalar que es posible que esto no capture completamente las adaptaciones locales a las diferencias microclimáticas dentro de una ecorregión.

ANÁLISIS ESPACIALES *IN SITU*

Para caracterizar el grado de esfuerzos de conservación *in situ* para cada especie objetivo, estimamos el porcentaje del área de distribución nativa inferida de una especie que está cubierta por áreas protegidas. Se ha recomendado que al menos el 10% de la distribución de una especie ocurra dentro de áreas protegidas (Salinas-Rodríguez et al., 2018; Zeng et al., 2023). Este objetivo sólo es aplicable a especies con áreas de distribución muy grandes (>250000 km²; Rodríguez et al., 2004). Idealmente, las especies con áreas de distribución mucho más pequeñas, como es el caso de muchos encinos Mesoamericanos amenazados, tendrían prácticamente todo su hábitat protegido. Encontramos que el 73% (43 de 59) de nuestras especies objetivo tienen más del 10% de su área de distribución protegida. Las 16 especies restantes deberían recibir prioridad para una conservación adicional *in situ*. En particular, hemos identificado tres especies que tienen protegido el 0% de su área de distribución nativa inferida: *Q. cualensis*, *Q. tuitensis* y *Q. ignaciensis*. *Quercus cualensis* y *Q. tuitensis* son especies microendémicas ubicadas en Jalisco, México, justo al sureste de Puerto Vallarta. Además de estar cerca de un destino turístico popular, existe una actividad minera activa dentro del área de distribución nativa de estas especies (Wenzell et al., 2020). *Quercus ignaciensis* es una especie con Datos Insuficientes que se conoce en un solo punto de ocurrencia en Sinaloa, México. Si se realizan estudios

futuros para localizar ocurrencias adicionales de esta especie, es posible que se encuentre en áreas protegidas cercanas.

En contraste, hay tres especies que tienen más del 80% de su área de distribución nativa inferida protegida: *Q. tomentella* (84%), *Q. costaricensis* (91%) y *Q. carmenensis* (98%). *Quercus tomentella* se encuentra en las Islas del Canal frente a la costa de California en los Estados Unidos, así como en la Isla Guadalupe en México. La Isla Guadalupe es una reserva de la biosfera protegida y está administrada por la organización sin fines de lucro Conservación de Islas. La única isla de California que no tiene establecida un área de protección formal es la isla San Clemente. Sin embargo, esta isla es administrada por la Marina de los EE. UU., que cuenta con un plan de Manejo Integrado de Recursos Naturales y una larga historia de esfuerzos de conservación colaborativos con el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los EE. UU. (USFWS, 2023). Casi el 100% de los puntos de ocurrencia silvestre de *Q. costaricensis* se encuentran dentro de dos áreas protegidas en Costa Rica: la Cordillera Volcánica Central (Reserva de la Biosfera UNESCO-MAB) y el Parque Internacional de la Amistad (Parque Nacional). Finalmente, todos los puntos de ocurrencia conocidos de *Q. carmenensis* se encuentran dentro de dos áreas protegidas: Maderas del Carmen en México (Reserva de la Biosfera UNESCO-MAB) y el Parque Nacional Big Bend en Texas, Estados Unidos.

De todos los países de Mesoamérica, Belice tiene el mayor porcentaje de su condado cubierto por áreas protegidas con un 37.55%. El Salvador tiene el menor porcentaje, con un 8.64% (Tabla 4). Dentro de México, las dos designaciones de áreas protegidas más comunes son Áreas de Conservación Voluntaria (ACV) y los Sitios Ramsar, Humedales de Importancia Internacional (UNEP-WCMC & IUCN, 2023). Los ACV representan un enfoque ascendente para el establecimiento de áreas protegidas, en el que personas y comunidades proponen sus tierras para su conservación.

Suelen tener un área muy pequeña. Los Sitios Ramsar son áreas que han sido designadas así, por contener humedales raros, representativos o únicos como parte de un acuerdo internacional comúnmente conocido como la Convención de Ramsar. Hay 168 países miembros que forman parte de este tratado global, incluidos todos los países de Mesoamérica (The Convention on Wetlands, 2023).

Las áreas protegidas en México no están distribuidas de manera uniforme: algunos estados tienen una proporción significativamente mayor de sus tierras protegidas que otros. Los estados mexicanos con mayor porcentaje de territorio cubierto por áreas protegidas son Baja California Sur (49%), Baja California (43%), México (39%) y Nayarit (35%). Aunque Baja California tiene más del 40% de cobertura de áreas protegidas, casi todas las áreas protegidas se encuentran en la mitad sur del estado en una gran Área Protegida Terrestre y de Aguas Interiores llamada Valle de los Cirios. Las especies objetivo que se encuentran en Baja California continental (*Q. dumosa*, *Q. cedrosensis* y *Q. engelmannii*) se encuentran al norte de esta área protegida y, como resultado, la mayor parte de su área de distribución en México no está protegida.

Hay 13 estados mexicanos que tienen menos del 10% de su territorio cubierto por áreas protegidas: Puebla (9.8%) Tlaxcala (9.7%), Sinaloa (8.0%), Zacatecas (8.0%), Colima (7.7%), Nuevo León (7.5%), Veracruz (7.4%), Durango (7.4%), Hidalgo (7.2%), Chihuahua (6.7%), Michoacán (5.9%), Oaxaca (5.7%) y Guerrero (1.3%). Los dos estados (Puebla y Nuevo León) que tienen el mayor número de encinos amenazados y con Datos Insuficientes tienen menos del 10% de cobertura de áreas protegidas. Se necesita más trabajo dentro de

estos dos estados para explorar la creación de áreas protegidas con el fin de garantizar la conservación de los encinos amenazados dentro de la región.

La Sierra Madre Oriental es un punto crítico para la diversidad de encinos amenazados en México. El veintiocho por ciento de esta provincia biogeográfica, según lo delimitado en Morrone et al. (2017), está cubierto por áreas protegidas (Figura 8). Las Cumbres de Monterrey y la Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 026 Bajo Río San Juan son dos áreas protegidas en la Sierra Madre Oriental que son especialmente ricas en especies de encinos amenazadas y con Datos Insuficientes. Hay nueve especies objetivo que se pueden encontrar sólo dentro de los límites de estas dos áreas protegidas. Cabe señalar, sin embargo, que este resultado puede estar sesgado por un mayor trabajo de exploración y recolección realizado dentro del área protegida. En general, se necesita más trabajo de investigación en regiones donde se espera una alta diversidad pero donde se ha realizado menos exploración debido a problemas de inaccesibilidad, por ejemplo es en el estado de Guerrero.

ÁREAS CLAVE PARA LA BIODIVERSIDAD

En el Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal, el Convenio sobre la Diversidad Biológica ha identificado 23 objetivos globales que necesitan medidas urgentes para el año 2030. Un objetivo central dentro de este marco es “garantizar y permitir que para 2030 al menos el 30 por ciento de las áreas terrestres y aguas continentales, y de las zonas marinas y costeras, especialmente las zonas de particular importancia para la diversidad biológica y las funciones y servicios de los ecosistemas, se conserven y gestionen eficazmente mediante sistemas de áreas protegidas ecológicamente representativos, bien conectados y gobernados equitativamente y otros sistemas eficaces de conservación basados en áreas...” (Convention on Biological Diversity, 2024.). La llamada iniciativa 30x30 se basa en la identificación y priorización oportuna de áreas protegidas. Las Áreas Clave para la Biodiversidad (Key Biodiversity Area, o KBA en inglés) se han convertido en uno de los enfoques más utilizados para identificar áreas que necesitan protección. Las KBA tienen como objetivo identificar y delimitar áreas de importancia global para la persistencia de la biodiversidad, basándose en “especies desencadenantes”. Se utiliza una especie desencadenante para identificar una KBA activando el criterio de biodiversidad amenazada o de irremplazabilidad. Es importante señalar que 1) las KBA no pueden superponerse entre sí, 2) se pueden agregar nuevas especies desencadenantes a una KBA existente y 3) aunque son una herramienta importante para la priorización de áreas de conservación, las KBA no representan protección legal por sí.

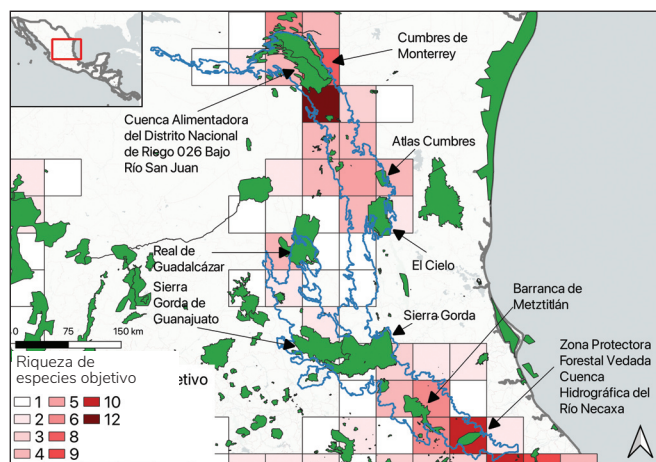


Figura 8. Riqueza de especies objetivo por 50 km² con las principales áreas protegidas etiquetadas. La Sierra Madre Oriental está delineada en azul. Las áreas protegidas son de Protected Planet (UNEP-WCMC & IUCN, 2023).

En Mesoamérica se han utilizado 795 especies desencadenantes para delimitar las KBA, de las cuales el 63% son aves. Las plantas constituyen el 7.7% de todas las especies desencadenantes en Mesoamérica, ninguna de las cuales es el encino. Se ha identificado que la identificación exhaustiva de KBA para todos los taxones y ecosistemas será una prioridad urgente en la próxima década (Visconti et al., 2019). Proponemos que incluir los encinos como especies desencadenantes de las KBA Mesoamericanas es una excelente oportunidad para que los líderes en conservación de árboles dentro de la región destaquen estas especies raras, endémicas y a menudo subestimadas.

Identificamos nueve especies de encinos que cumplen con al menos un criterio para delimitar una KBA. Para siete de estas especies, la mayoría de las apariciones silvestres conocidas se encuentran dentro de una KBA actualmente establecida, lo que las convierte en candidatas ideales para agregar a la lista de especies desencadenantes existentes. Una especie, *Q. macdougallii*, cumple con los criterios A1e para su designación como KBA. Este criterio se relaciona con una región que alberga efectivamente todo el tamaño de la población de una especie En Peligro Crítico o En Peligro. *Quercus macdougallii* está en peligro de extinción y todos los casos conocidos ocurren dentro de la KBA de la Sierra Norte de Oaxaca (Figura 9D).

Cuatro especies cumplen con el criterio A1a para su designación como Área Clave para la Biodiversidad: *Q. cualensis*, *Q. devia*, *Q. brandegeei* y *Q. carmenensis*. El criterio A1a designa una región con >0.5% del tamaño total de la población y >5 unidades reproductivas de una especie En Peligro Crítico o En Peligro de extinción como KBA. Ochenta y cuatro por ciento de las ocurrencias conocidas de *Q. cualensis*, una especie En Peligro, se encuentran dentro de los límites del oeste de la KBA Talpa de Allende (Figura 9A). *Quercus devia* y *Q. brandegeei* también son especies En Peligro, y el 85% y el 19% de las apariciones conocidas de estas dos especies, respectivamente, se encuentran dentro de la KBA Sierra de La Laguna (Figura 9B). Finalmente, el 57% de los puntos de ocurrencia conocidos de *Q. carmenensis*, otra especie En Peligro, se encuentran dentro de la KBA Sierra Maderas del Carmen (Figura 9F). Cada una de las especies enumeradas anteriormente tiene un tamaño de población de más de cinco individuos dentro de la KBA.

Otras dos especies cumplen con el criterio A1b, que es una región con >1.0% del tamaño total de la población y >10 unidades reproductivas de una especie vulnerable: *Q. costaricensis* y *Q. hintoniorum*. Más del 50% de las apariciones silvestres conocidas de *Q. costaricensis*, una

especie vulnerable, se encuentran en la Cordillera de Talamanca KBA (Figura 9E). Más del 70% de las ocurrencias de *Q. hintoniorum*, otra especie vulnerable, se encuentran dentro de la KBA Sierra de Arteaga (Figura 9C).

Identificamos dos especies de encinos amenazadas que actualmente no se encuentran dentro de una KBA existente, pero que potencialmente podrían cumplir con los criterios para establecer una nueva KBA: *Q. tuitensis* y *Q. hintonii*. *Quercus tuitensis* se encuentra en un rango muy similar a *Q. cualensis*. Sin embargo, la mayoría de las ocurrencias conocidas de esta especie se encuentran justo fuera del oeste de Talpa de Allende KBA (Figura 10A). Todas las apariciones silvestres conocidas de *Q. hintonii* se encuentran justo al oeste de una KBA existente, la Sierra de Taxco - Nevado de Toluca (Figura 10B).

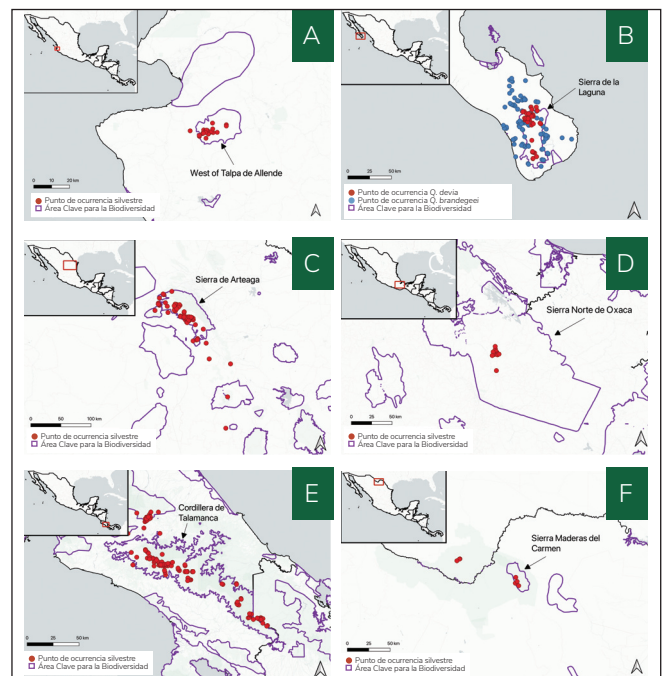


Figura 9. Puntos de ocurrencia silvestre de A) *Quercus cualensis*, B) *Q. devia* y *Q. brandegeei*, C) *Q. hintoniorum*, D) *Q. macdougallii*, E) *Q. costaricensis* y F) *Q. carmenensis* en relación con Áreas Clave de Biodiversidad.

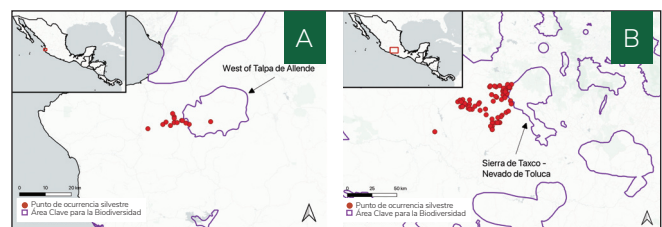


Figura 10. Puntos de ocurrencia silvestre de A) *Quercus tuitensis* y B) *Q. hintonii* en relación con Áreas Clave para la Biodiversidad.

Un componente clave al delinear los límites geográficos de una KBA es que debe ser manejable como una unidad y, por lo tanto, es necesario trazar límites que tengan en cuenta no sólo consideraciones ecológicas, sino también consideraciones socioeconómicas (por ejemplo, tenencia de la tierra y fronteras políticas; IUCN 2016). Por ejemplo, una KBA no debería atravesar terrenos privados. Por lo tanto, el siguiente paso después de identificar especies que cumplen con los criterios para delinear una KBA es identificar límites apropiados.

Un desafío potencial tanto para delinear una nueva KBA como para agregar encinos amenazados como especies desencadenantes a una KBA existente es la antigüedad de los datos utilizados para confirmar que se cumple un umbral. Idealmente, los datos deberían recopilarse dentro de los últimos 12 años (IUCN, 2016). Los datos sobre la presencia de encinos, especialmente de especies raras y poco estudiadas como las de Mesoamérica, suelen tener varias décadas de antigüedad. Dependiendo de la antigüedad de los datos, es posible que sea necesario realizar estudios adicionales antes de que una especie pueda considerarse parte de una KBA. También cabe señalar que esta no es una lista exhaustiva de especies que pueden usarse para actualizar o establecer una nueva KBA. A medida que se completan trabajos de estudio adicionales y se actualizan

los mapas de ocurrencia, las especies deben mapearse con respecto a las KBA existentes para determinar si podrían usarse potencialmente para actualizar o delinear una nueva KBA.

ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE

Los encinos habitan en la mayoría de los tipos de vegetación en Mesoamérica y muchas especies tienen requisitos de hábitat muy específicos. Por ejemplo, *Q. acherdophylla* está restringida a barrancos húmedos en bosques nubosos de la Sierra Madre Oriental a elevaciones de 1800–2500 m (González-Espinosa et al., 2011; Jerome, 2018a). En el otro extremo está *Q. dumosa*, que se encuentra únicamente en el hábitat del chaparral en colinas bajas, típicamente cerca de la costa. Ambas especies en extremos opuestos del espectro de hábitat resaltan la importancia de la elevación, la temperatura y las precipitaciones para determinar dónde puede sobrevivir cualquier especie de encino. El sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge se basa en estos tres parámetros, así como en el índice de evapotranspiración, para distinguir los ecosistemas locales (Figura 11). Se ha demostrado que este sistema de clasificación es ideal para los trópicos, especialmente las zonas alpinas, donde se desarrolló por primera vez (Khatun et al., 2013; Derguy et al., 2022).

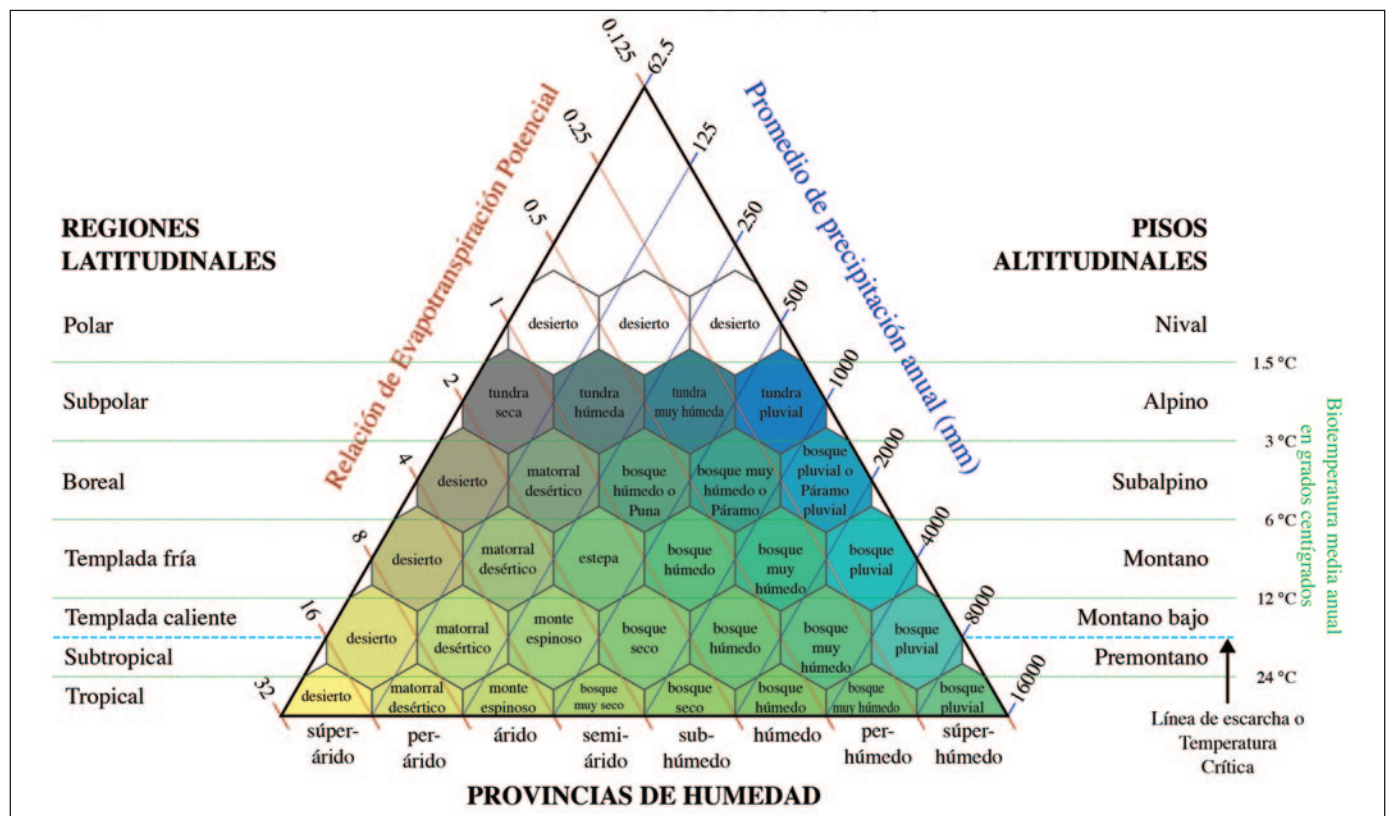


Figura 11. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (Holdridge, 1967). De Carlosgis - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0,

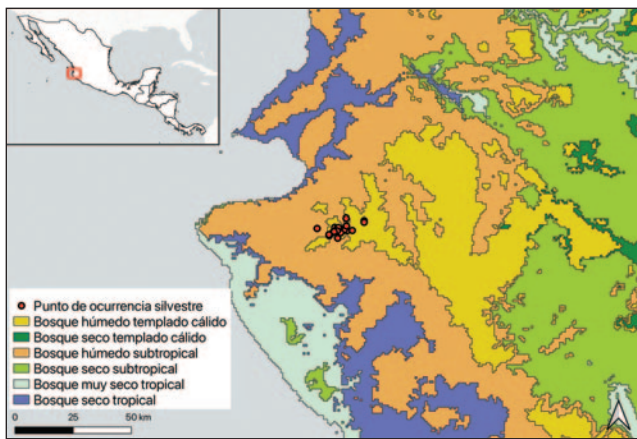


Figura 12. Puntos de ocurrencia silvestre de *Quercus cualensis*. Las regiones coloreadas son zonas de vida de Holdridge. La mayoría de los puntos de ocurrencia de *Q. cualensis* se encuentran en el bosque húmedo templado cálido.

Descubrimos que las zonas de vida de Holdridge tienen el potencial de ser una herramienta útil para identificar un hábitat adecuado para los encinos Mesoamericanos. Muchas especies objetivo mostraron una fuerte preferencia por una zona de vida: veintidós de nuestras especies objetivo tenían el 75% o más de todos los puntos de ocurrencia en una sola zona de vida. Por ejemplo, el 90% de los puntos de ocurrencia silvestre geolocalizados de *Q. cualensis* ocurren dentro del bosque húmedo templado cálido (Figura 12). Esta ecorregión se encuentra dentro del cinturón altitudinal montano inferior y se caracteriza por una precipitación promedio anual de 1000–2000 mm, una biotemperatura de 12–18 °C y una relación de evapotranspiración potencial de 0.5–1. Hay una gran área de bosque húmedo templado cálido dentro de Jalisco justo al este de todas las apariciones conocidas de *Q. cualensis*. Identificar dónde se encuentra esta ecorregión dentro del área de distribución nativa de *Q. cualensis* tiene el potencial de dirigir estudios futuros en busca de esta especie rara y amenazada.

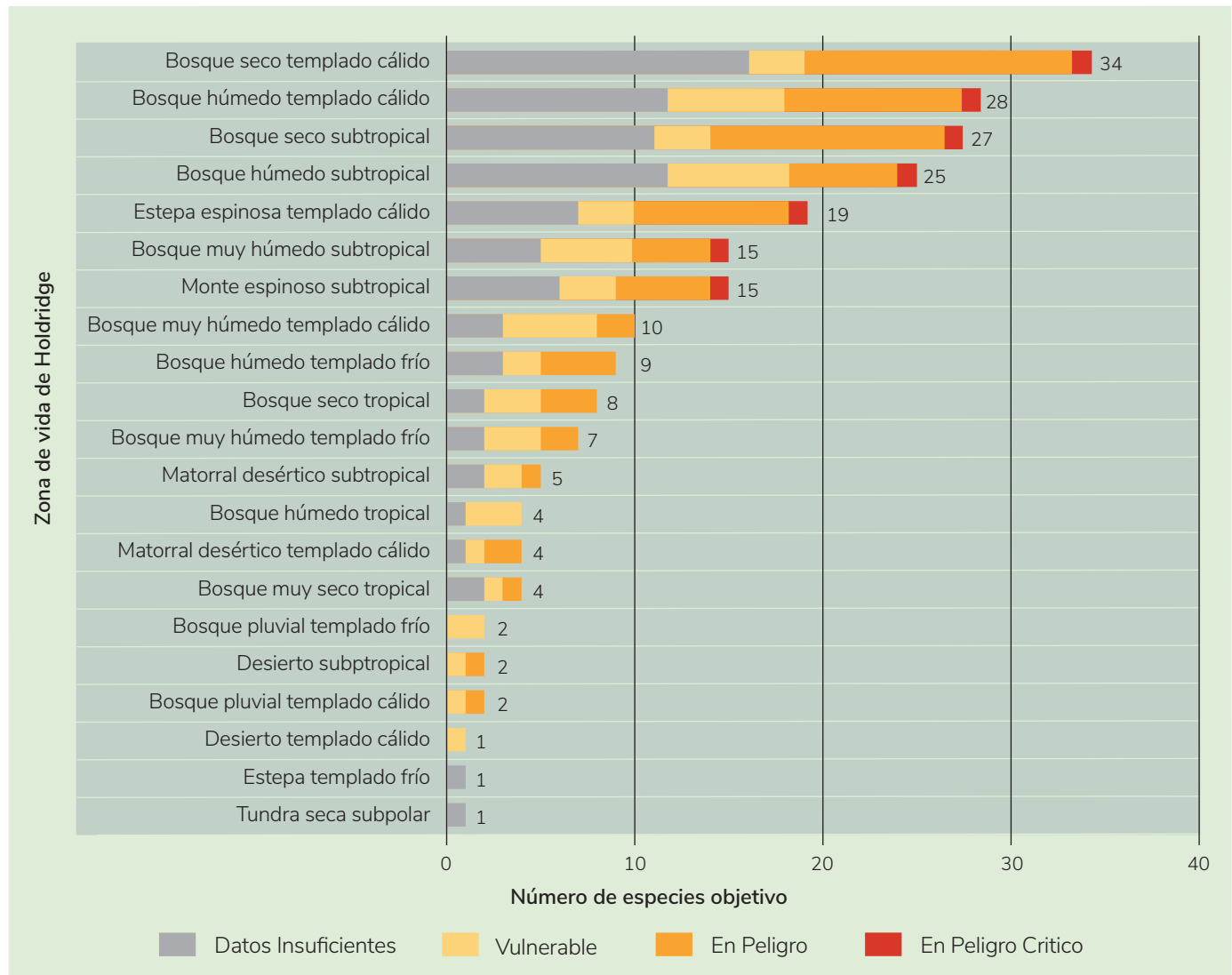


Figura 13. Número de especies de encino objetivo dentro de cada zona de vida de Holdridge en Mesoamérica, agrupadas por categoría de la Lista Roja de la UICN.

Dentro de Mesoamérica, hay 34 zonas de vida de Holdridge, 21 de las cuales contienen una especie de encino amenazado o con Datos Insuficientes (Figura 13; Apéndice D). La mayoría de las especies objetivo (58%) se encuentran dentro del bosque seco templado cálido. Esta zona de vida se caracteriza por una biotemperatura de 12–18 °C, una precipitación anual de 500–1000 mm y una relación de evapotranspiración potencial de 1.0–2.0. El nueve por ciento de Mesoamérica está cubierto por bosque seco templado cálido, lo que la convierte en la sexta zona de vida más grande de la región. La zona de vida más grande es el bosque húmedo subtropical, que cubre el 16% de Mesoamérica. Esta zona de vida también es una ecorregión importante para los encinos, ya que contiene el 42% (25 de 59) de las especies objetivo.

Las zonas de vida de Holdridge también se pueden utilizar para identificar instituciones ex situ que tengan las condiciones ambientales apropiadas para cultivar encinos en México y Centroamérica. Según BGCI GardenSearch, hay 91 jardines botánicos y arboretos en Mesoamérica, la mayoría de los cuales están en México (58), seguido de Costa Rica (13), Panamá (7), Honduras (5), Belice (3), Nicaragua (3), El Salvador (1) y Guatemala (1) (Figura 14; BGCI, 2023). Estas instituciones ocurren dentro de 12 zonas de vida de Holdridge, siendo las más comunes el bosque húmedo subtropical (19 instituciones) y el bosque seco templado cálido (17 instituciones; Apéndice F). Ambas zonas de vida se encuentran dentro de las cuatro ecorregiones más comunes en las que se encuentran nuestras especies de encino objetivo (Figura 13). Las 59 especies objetivo habitan en una zona de vida en la que también hay al menos un jardín botánico y/o arboreto, lo que hace que estas instituciones estén bien



Figura 14. Ubicación de jardines botánicos y arboretos en Mesoamérica, según lo informado a BGCI GardenSearch a noviembre de 2023 (BGCI, 2023).

posicionadas geográficamente para sustentar a los encinos. En general, los encinos son muy adaptables en cultivo y hay ejemplos de especies de encinos que crecen en jardines botánicos y que provienen de zonas de vida silvestres muy diferentes (Allen Coombes, comunicación personal, 2024). También cabe señalar que los 91 jardines botánicos, arboretos y organizaciones similares que figuran en BGCI GardenSearch son extremadamente diversos y no todos los sitios tienen la capacidad o el espacio para agregar encinos a sus colecciones. Sin embargo, debemos continuar desarrollando capacidades en los jardines Mesoamericanos que desean cultivar encinos para asegurarnos de que tengan la información y los recursos necesarios para hacerlo. Finalmente, los datos de GardenSearch son enviados y mantenidos principalmente por instituciones individuales. Para ser incluidas en GardenSearch, los jardines botánicos deben estar abiertos al público y tener una colección botánica viva permanente. Las agrupaciones nacionales, como La Asociación Mexicana de Jardines Botánicos (AMJB), pueden adoptar un enfoque diferente para definir e identificar los jardines botánicos. Según la AMJB, el número de jardines botánicos oficiales en México es 24, con 24 jardines consultores adicionales (es decir, jardines en progreso). Los jardines etnobiológicos se están desarrollando cada vez más en la región. Algunos de estos jardines recién están comenzando a establecer sus colecciones y políticas, y se debe explorar su capacidad para ser socios en la conservación del encino. Consulte el Apéndice F para los jardines botánicos y arboretos utilizados en este análisis, y sus zonas de vida Holdridge asociadas.



Hábitat del encino en Costa Rica (The Morton Arboretum)



CASO DE ESTUDIO 1:

Quercus insignis - la conservación *in situ* de la evaluación a la acción

(Autoras: Silvia Alvarez-Clare, The Morton Arboretum; Karina Orozco, The Morton Arboretum)



Bellotas de *Quercus insignis* plantadas en un semillero por Osa Conservation personal de vivero en Asociación Ambiental Finca Cántaros en San Vito, Costa Rica. (The Morton Arboretum)

En 2017, durante la reunión inicial de la Red de Conservación de los Encinos de las Estadounidenses, que se convirtió en la base del actual 'Global Conservation Consortium for Oak' (GCCO; ver Caso de Estudio 2), los participantes destacaron al *Quercus insignis* como una especie en declive y que necesita protección, investigación y conservación. Siguiendo este mandato, un equipo liderado por The Morton Arboretum se propuso utilizar la metodología EVALUAR-PLAN-ACTUAR desarrollada por la Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN para crear un plan de conservación integrado para la especie.

EVALUAR: *Quercus insignis* fue evaluado por primera vez como Casi Amenazado en 2007 por el Grupo Global de Especialistas en Árboles (Oldfield & Eastwood, 2007). En 2018, el equipo de la Lista Roja de Morton Arboretum reevaluó la especie como En Peligro, colocándola en la cima de la lista de especies que necesitan acciones de conservación (Jerome et al., 2018b). Al mismo tiempo, un equipo de investigadores mexicanos liderado por H. Rodríguez-Correa (Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia) y T. Toledo-Aceves (Instituto Nacional de Ecología, Veracruz) inició una investigación sobre genética de poblaciones y ecología de la especie. Estos estudios revelaron que las poblaciones de *Q. insignis* están extremadamente fragmentadas y el flujo genético entre las poblaciones es bajo (Rodríguez-Correa et al., 2017). También revelaron que la especie tiene un alto potencial de restauración y se establece fácilmente cuando se trasplanta *in situ* (García-Hernández et al., 2019; Toledo-Aceves et al., 2022). Una tesis de maestría de L.M. Naranjo Bravo (2021) destacó a Costa Rica como un área prioritaria y con alta conectividad para la especie.

PLAN: Armado con la evaluación y el conocimiento biológico de la especie, un equipo dirigido por S. Alvarez-Clare (The Morton Arboretum), H. Acevedo (Agathos Natura) y R. De Sousa (Osa Conservation) esbozó un enfoque integrado para desarrollar un plan de manejo de conservación de *Q. insignis* para Costa Rica. Esto incluyó la preparación de un Plan de Acción para la Conservación siguiendo prácticas de toma de decisiones participativas. Se llevaron a cabo talleres para recopilar aportes de múltiples partes interesadas de la academia, el gobierno, las comunidades, los estudiantes y las ONG (Acevedo-Mairena et al., 2024). El Plan de Acción sirve como hoja de ruta para la recuperación de especies.

ACTUAR: El equipo lanzó una campaña de restauración para plantar más de 5,000 plántulas de *Q. insignis* primero en el sur de Costa Rica (como parte del proyecto Ridge to Reef dirigido por Osa Conservation), y luego en varios otros lugares de su área de distribución nacional. El equipo creó un manual de propagación para la especie (Orozco et al., 2023) y organizó talleres de desarrollo de capacidades para que los parataxónomos locales pudieran aprender a identificar esta y otras especies de árboles raros. En colaboración con la Asociación Ambientalista Finca Cántaros, una ONG local centrada en la educación ambiental (entre otras prioridades), el equipo también trabajó con un grupo de mujeres locales que comenzaron su propio vivero de árboles llamado "Bellota". Cántaros también ha liderado actividades educativas que incluyeron plantaciones de árboles con niños.

Desde 2015, el número total de muestras *ex situ* de *Q. insignis* ha aumentado un 20%. Actualmente, veinticuatro jardines albergan al menos un árbol de *Q. insignis*, incluida Finca Cántaros, que es un Arboretum acreditado a través de ArbNet (arbnet.org), y alberga docenas de árboles de *Q. insignis*. Desde 2017, hemos obtenido más de 250000 dólares estadounidenses en subvenciones para trabajos de investigación y conservación que incluyen *Q. insignis*. En resumen, *Q. insignis* podría usarse como especie emblemática para promover la conservación del bosque nuboso montano tropical, un ecosistema extremadamente amenazado, y activar audiencias clave para la conservación de los encinos amenazados.

CASO DE ESTUDIO 2:

GCCO México y Centroamérica: una red innovadora para promover la conservación del encino en la región

(Autora: Maricela Rodríguez-Acosta, Coordinadora del GCCO México y Cen. Am.)



Vivero de propagación de encino en Hueytamalco, Puebla, México. La Dra. Maricela Rodríguez y su equipo están trabajando con el Ejidatarios que cultivan *Quercus paxtalensis* y *Quercus cortesii*, además de otros encinos, como parte del proyecto Franklinia. (César Flores)

El 'Global Conservation Consortium for Oak' (GCCO) es una red dedicada a la preservación y protección de los encinos en todo el mundo, actualmente liderada por The Morton Arboretum, en asociación con Botanic Gardens Conservation International (BGCI). Este Consorcio está formado por científicos, expertos en conservación y entusiastas de la naturaleza. El GCCO trabaja en estrecha colaboración con gobiernos, organizaciones no gubernamentales y comunidades locales para promover la investigación, la conservación de colecciones vivas, la conservación del hábitat y la educación sobre los encinos. Su principal objetivo es abordar los desafíos que amenazan a estas valiosas especies de árboles, como la deforestación, el cambio climático, las plagas y patógenos y la degradación del suelo, mediante la implementación de estrategias innovadoras y sostenibles.

El GCCO es una iniciativa colaborativa que busca proteger y preservar las especies y bosques de encinos, reconocidos como ecosistemas clave para la biodiversidad y la salud ambiental, un programa necesario debido a la pérdida acelerada de encinos en los últimos años. El GCCO está trabajando actualmente en los puntos críticos de diversidad del encino en todo el mundo: México y Centroamérica, China, el Sudeste Asiático, Estados Unidos de América y Europa.

La región con mayor diversidad de encinos es México y Centroamérica, con más de 160 especies distribuidas en múltiples hábitats incluyendo alrededor de 32 especies amenazadas y 27 especies con Datos Insuficientes en el medio silvestre. La Coordinadora del GCCO en México y Centroamérica está concentrando esfuerzos en especies prioritarias, amenazadas y con Datos Insuficientes en esta región, descritas en el informe La Lista Roja de Encinos 2020.

El GCCO en México y Centroamérica se ha enfocado en varios objetivos, tales como: 1) el reclutamiento de miembros del Consorcio en todo México y Centroamérica, con diferentes niveles de participación, 2) la capacitación y formación de un grupo de administradores o guardianes de especies, con el propósito de responsabilizarse del cuidado y protección de la especies de encino prioritarias, y 3) incrementar la propagación de diferentes especies de encino, para la formación de una metacolectión que enriquezca las colecciones vivas de conservación de los jardines botánicos mexicanos. El trabajo realizado hasta ahora por la GCCO ha formado una red fuerte, comprometida y organizada, que lidera y hace crecer los esfuerzos de investigación y conservación del encino para preservar los encinos amenazados del mundo ahora y en el futuro.



VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático tiene el potencial de alterar drásticamente tanto el área general como la distribución de las zonas de vida de Holdridge dentro de Mesoamérica. Debido a que las zonas de vida de Holdridge dependen de la precipitación y la temperatura, cualquier cambio en estos dos parámetros dará como resultado una nueva clasificación climática. Las predicciones bajo diversos escenarios de emisiones sugieren que México enfrentará sequías más recurrentes e intensas, con una disminución general de las precipitaciones (CMCC, 2021). Esto conducirá a un ambiente más árido y una reducción del hábitat adecuado para los biomas de pino-encino de México (Rehfeldt et al., 2012; Sáenz-Romero et al., 2020). Se espera que Centroamérica en su conjunto se vuelva más cálida y seca con eventos climáticos extremos más frecuentes, y a nivel mundial se considera que esta región tropical es en la que se predicen los cambios climáticos más

grandes (Giorgi, 2006; Imbach et al., 2018). Muchos encinos Mesoamericanos nativos tienen requisitos de hábitat muy específicos y tienden a ocurrir en un pequeño número de zonas de vida. Como tal, incluso un cambio sutil en las precipitaciones y/o la temperatura puede tener impactos drásticos en el hábitat disponible de una especie. Además, el rápido ritmo del cambio climático está superando la capacidad de muchas especies para adaptarse o migrar a hábitats más adecuados. Aquí, evaluamos la vulnerabilidad de una especie al cambio climático midiendo el cambio en el área total de su zona de vida preferida de Holdridge en un clima general más cálido y seco en relación con las condiciones actuales. Determinamos la zona de vida preferida para cada especie identificando la zona de vida en la que se encontró el mayor número de puntos de ocurrencia silvestre (Tabla 5). Para ver un ejemplo de este análisis, consulte los resultados generados para *Q. dumosa* en la Figura 15.

Tabla 5. Zona de vida preferida de Holdridge para cada especie objetivo. Las zonas de vida preferidas se definen como aquellas en las que se encuentra el mayor número de puntos de presencia silvestre. Nota: esto no indica que esta sea la única zona de vida en la que se encuentra una especie. De hecho, la mayoría de las especies se encuentran naturalmente en múltiples zonas de vida.

Bosque seco subtropical	Monte espinoso subtropical
<i>Q. cupreata</i> , <i>Q. opaca</i> , <i>Q. perpallida</i> , <i>Q. porphyrogenita</i> , <i>Q. runcinatifolia</i>	<i>Q. ajoensis</i> , <i>Q. brandegeei</i> , <i>Q. ignaciensis</i>
Bosque muy húmedo templado frío	Bosque muy húmedo subtropical
<i>Q. macdougallii</i>	<i>Q. sarahmariae</i>
Bosque húmedo subtropical	Monte espinoso templado cálido
<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. breedloveana</i> , <i>Q. gracilior</i> , <i>Q. hintonii</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. mulleri</i> , <i>Q. nixoniana</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. rekonis</i> , <i>Q. tuitensis</i> , <i>Q. vicentensis</i>	<i>Q. carmenensis</i> , <i>Q. cedrosensis</i> , <i>Q. coahuilensis</i> , <i>Q. deliquescentis</i> , <i>Q. dumosa</i> , <i>Q. engelmannii</i> , <i>Q. galeanensis</i> , <i>Q. graciliformis</i> , <i>Q. tinkhamii</i> , <i>Q. tomentella</i> , <i>Q. verde</i>
Bosque húmedo templado cálido	Bosque seco templado Cálido
<i>Q. centenaria</i> , <i>Q. cualensis</i> , <i>Q. delgadoana</i> , <i>Q. ghiesbreghtii</i> , <i>Q. gulielmi-trelesei</i> , <i>Q. hirtifolia</i> , <i>Q. meavei</i> , <i>Q. melissae</i> , <i>Q. mexiae</i> , <i>Q. rubramenta</i> , <i>Q. toxicodendrifolia</i> , <i>Q. trinitatis</i>	<i>Q. acherodophylla</i> , <i>Q. aerea</i> , <i>Q. barrancana</i> , <i>Q. coffeicolor</i> , <i>Q. devia</i> , <i>Q. diversifolia</i> , <i>Q. flocculenta</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. miquihuanensis</i> , <i>Q. radiata</i> , <i>Q. supranitida</i> , <i>Q. toumeyii</i> , <i>Q. undata</i>
Bosque húmedo templado frío	Bosque pluvial templado frío
<i>Q. hintoniorum</i>	<i>Q. costaricensis</i>

Para la mayoría de las especies (50 de 59, 85%), se predice que el área de su zona de vida preferida disminuirá en todos los modelos climáticos ensamblados (Figura 16). Hay 26 especies que mostraron una disminución promedio del 50% o más en el área de la zona de vida preferida, y dos especies que mostraron una disminución promedio del 100%: *Q. macdougalii* y *Q. hintoniorum*. Tanto para *Q. macdougalii* como para *Q. hintoniorum*, hubo un fuerte acuerdo entre los modelos climáticos: la disminución porcentual en el área de hábitat preferida para *Q. macdougalii* osciló entre -99,4% y -100% y la de *Q. hintoniorum* osciló entre -98% y -100% en los diez modelos. Estas especies pueden beneficiarse especialmente de las actividades de conservación que aborden el impacto del cambio climático, como la migración asistida.

Hubo varias especies, en particular *Q. ajoensis*, para las cuales hubo una gran variabilidad entre los diferentes modelos climáticos, algunos sugirieron un aumento en el área y otros una disminución (Figura 16). En condiciones de referencia, estas especies tienden a existir en el límite de su zona de vida preferida. Como resultado, un pequeño cambio en la ubicación de la zona de vida puede hacer que ésta se desplace por completo dentro o fuera del rango inferido de la especie. Esto da como resultado un gran aumento o disminución del área en relación con las condiciones de referencia, según el modelo.

Nuestros resultados muestran que las especies de encinos que prefieren ecosistemas templados cálidos son particularmente vulnerables al cambio climático. De las 26 especies que mostraron una disminución promedio general del 50% o más del área de su zona de vida preferida, las zonas de vida preferidas más comunes fueron el matorral espinoso



Quercus brandegeei (The Morton Arboretum)

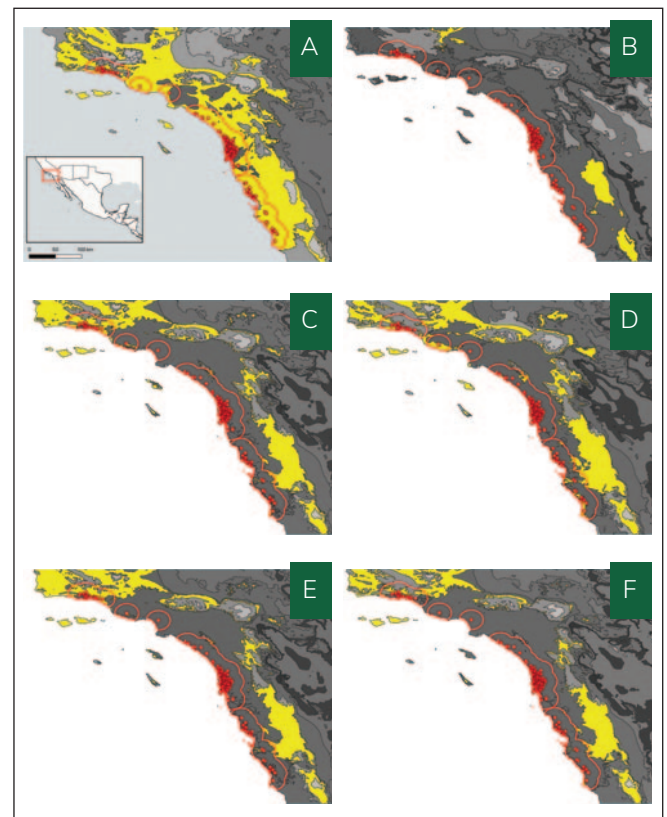


Figura 15. La distribución de *Quercus dumosa* con su zona de vida preferida de Holdridge (estepa espinosa templado cálido) resaltada en amarillo en condiciones de referencia (A) en comparación con las condiciones generadas a partir de cinco modelos de cambio climático diferentes: UKESM (B), MRI-ESM2 (C), MRI-ESM1 (D), MIROC-6 (E) IPSL-CM6A-LR (F). Se coloca una zona de influencia de 20 km alrededor de cada punto de ocurrencia silvestre en rojo para indicar el área de distribución nativa inferida de la especie.

templado cálido (10 especies, 38%) y el bosque húmedo templado cálido (10 especies, 38%). Esto concuerda con un estudio de Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez (1997), quienes demostraron que las zonas de vida más afectadas por el cambio climático en México son los bosques templados fríos y cálidos, los cuales se reducirían significativamente en superficie o incluso desaparecerían por completo. Históricamente, la región neotropical de México, donde se concentra el bosque húmedo templado cálido, ha experimentado una disminución pronunciada en las precipitaciones generales (Cuervo-Robayo et al., 2020). El bosque húmedo templado cálido y el bosque húmedo subtropical se asocian típicamente con el bosque nuboso montano. Este hábitat es el preferido por muchas especies de encinos Mesoamericanos y es especialmente vulnerable al cambio climático. Se estima que para 2080, el 68% del hábitat del bosque nuboso en México podría desaparecer (Ponce-Reyes et al., 2012).

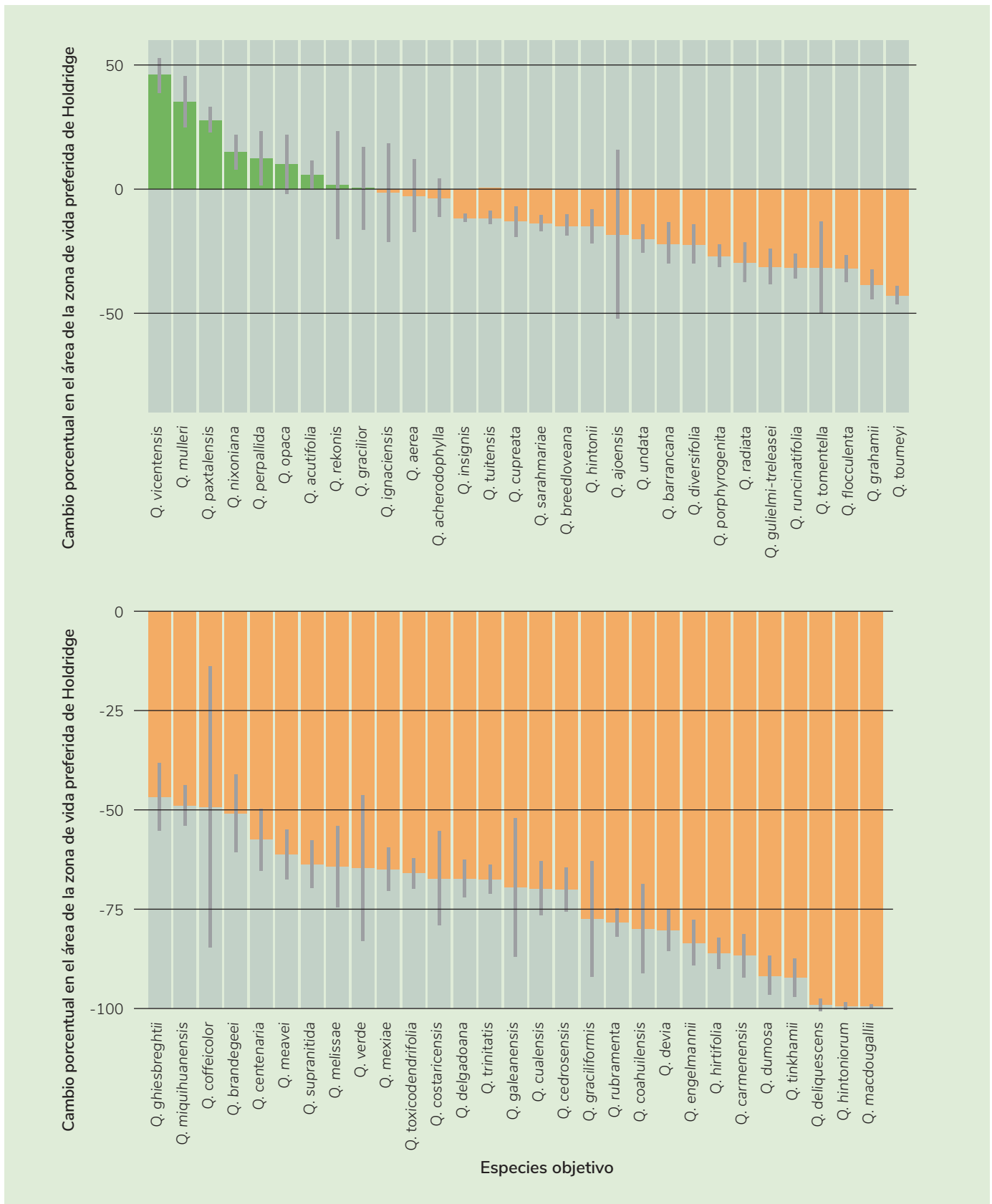


Figura 16. El cambio porcentual medio en el área total de la zona de vida Holdridge preferida para cada especie objetivo según los diez modelos de cambio climático, en relación con el clima actual. Las barras verdes representan un aumento en el área general y las barras naranjas representan una disminución. Las barras de error son +/- 2 SE. Observe el cambio en la escala del eje Y.

CASO DE ESTUDIO 3:

Quercus agrifolia: un encino de importancia cultural

(Autor: Jesús Serrano, Instituto de Planeación Ambiental y Calidad de Vida, A. C.)



Corredor ribereño de *Quercus agrifolia* (Jesús Serrano)

Quercus agrifolia, conocido comúnmente como Encino de la Costa, Encino de California o Encino Costero Perenne, es un árbol mesófilo siempreverde nativo de California característico de hábitats méxicos. Su distribución regional ocurre en una franja alargada adyacente a la costa, que abarca desde el oeste de la Sierra Nevada en el condado de Mendocino, California, hasta el norte de Baja California. De manera particular, en Baja California se encuentra principalmente en regiones costeras, zonas riparias y laderas de las montañas principalmente en elevaciones de los 30 a los 700 msnm, aunque a nivel regional existen reportes de ocurrencia ocasional hasta los 1,500 msnm.

Q. agrifolia prefiere climas mediterráneos con veranos secos, inviernos húmedos y suelos bien drenados. Su distribución está influenciada por la humedad del suelo y la disponibilidad de agua. Como resultado, se puede encontrar asociado al chaparral en su forma de árbol o en forma de arbusto en su hábitat costero. En bosques de

encinos es codominante con otras especies de encinos, (*Q. engelmannii*, *Q. lobata*, *Q. dumosa*, *Q. párvula* var *shrevei*), con los que puede formar híbridos. En las zonas riparias es común su ocurrencia en codominancia con otras especies de árboles como sicomoros (*Platanus racemosa*), alisos (*Alnus rhombifolia* y *A. rubra*) y alamillo (*Populus fremontii*), así como con otras especies de *Quercus*.

Los bosques de *Q. agrifolia*, riparios o de laderas, conforman microclimas frescos que favorecen el desarrollo de otras especies vegetales con mayores requerimientos de humedad, retienen el agua en el subsuelo y promueven un sistema ecológico en equilibrio, que en diversos lugares contrasta con la vegetación más baja y seca de los alrededores. Como consecuencia, sus agregados boscosos proporcionan refugio y alimento para una variedad de animales, incluidos insectos (hormigas, polinizadores varios), aves (pájaro carpintero bellotero, charas, rapaces, etc.), mamíferos (ardillas, zorros, gatos monteses, etc.) y reptiles (lagartijas, serpientes).



Además de su valor ecológico, tiene un gran valor cultural-ancestral para diversos grupos nativos de la región de California y norte de Baja California, pues ha sido apreciada históricamente por sus diversos usos tradicionales: a) la bellota fue base de la alimentación de diversos grupos nativos, un ejemplo es el uso actual de las comunidades Kumiai de Ensenada que conservan la tradición de elaborar una pasta conocida como Atole de Bellota, misma que usan como aderezo para sus alimentos; b) diversas partes del encino (hojas, corteza, raíz) son utilizadas con propósitos medicinales, actualmente las comunidades Kumiai de Ensenada utilizan la corteza como antiséptico bucal y las hojas como tés contra malestares intestinales o respiratorios; c) ha sido utilizado ancestralmente como material para construcción, así como para hacer artesanías y utensilios. Se tienen registros de que los indígenas Kumiai ancestrales asentaban campamentos en los bosques de encino, debido a la gran variedad de recursos que les ofrecía para su supervivencia, razón por la cual *Q. agrifolia* tenía un significado espiritual y simbólico, por lo que eran empleados en ceremonias, rituales y festivales.

Actualmente la distribución de los bosques de *Q. agrifolia* presenta varias amenazas debido a que las ciudades principales de Baja California se asientan en su parte septentrional, coincidiendo con la distribución de

Q. agrifolia, por tal motivo la expansión urbana y la agricultura han afectado negativamente su hábitat y ocurrencia. Dentro de los desafíos se encuentran la tala de los encinos para ser utilizado como leña, la extracción de la llamada tierra de encino para jardinería, la deforestación para construcción de zonas habitacionales, los incendios forestales provocados por asentamientos urbanos irregulares y quema de basura, el vertimiento de aguas residuales a los arroyos principales de los centros urbanos, y el paso de calles y carreteras, entre otros.

Esta especie es vital para la biodiversidad y la salud de los ecosistemas en la región, representa un patrimonio cultural y de simbolismo espiritual para las comunidades nativas de la región, así como para los centros urbanos ofrece servicios ecosistémicos de microclimas frescos frente a escenarios de cambio climático (hasta 15°C más fresco en el bosque de encino que en la zona urbana colindante), promueve la conservación de los acuíferos, provee de lugares de esparcimiento y abatimiento del estrés urbano, los cuales son sitios ideales para educación ambiental, motivos por los cuales su preservación es fundamental para mantener su rica historia y su contribución a la cultura y la biodiversidad regional. La colaboración entre científicos, comunidades locales y organizaciones de conservación es fundamental para asegurar la supervivencia a largo plazo de esta especie emblemática.



Quercus agrifolia en Cañón Doña Petra (Isabel Raymundo)

AMENAZAS

A través de una revisión de la literatura y entrevistas con expertos en especies de *Quercus*, identificamos las amenazas actuales que enfrentan las 32 especies evaluadas en la Lista Roja de la UICN como En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerable (Tabla 6). No evaluamos el grado de amenaza para cada especie, sino que identificamos si una amenaza estaba presente, no presente o era desconocida. La UICN recomienda que para cada amenaza se analice el momento, el alcance y la gravedad (Esquema de clasificación de amenazas de la UICN, versión 3.3). Por ejemplo, el alcance de una amenaza se puede clasificar en uno de cuatro grupos: 1) afecta a toda la población (>90%), 2) afecta a la mayoría de la población (50–90%), 3) afecta a la minoría de la población (<50%), o 4) desconocida. Para la mayoría de nuestras especies de encino objetivo en Mesoamérica, el alcance, el momento y la gravedad a menudo se desconocen. Se necesita más trabajo para evaluar completamente el grado de amenaza de cada especie.

La amenaza más común identificada fue el cambio climático, que, según se informó, afecta a las 32 especies amenazadas en algún nivel. Estos resultados son similares a los encontrados en el análisis de vacíos de los encinos nativos de EE. UU., donde se identificó el cambio climático como una amenaza para todos los encinos preocupantes en los Estados Unidos (Beckman et al., 2019). Encontramos que se espera que la zona de vida preferida para una gran mayoría de encinos Mesoamericanos amenazados disminuya como resultado del cambio climático (Figura 16). Se espera que el cambio climático afecte ampliamente a los encinos en México, en algunos casos disminuyendo el hábitat adecuado hasta en un 48% para el año 2050 (Gómez-Mendoza & Arriaga, 2007). La segunda amenaza más común fue el uso humano del paisaje (agricultura, silvicultura, ganadería y/o pastoreo), que se identificó como una amenaza para el 72% (23 de 32) de las especies. Según la Lista Roja de Encinos, la agricultura es la amenaza más común para los encinos tanto a nivel mundial como en México y Centroamérica (Carrero et al., 2020). Entre 2001–2018, México perdió casi 42785 hectáreas de bosque primario por año debido a la agricultura y 157528 hectáreas por año para el pastoreo de ganado (CONAFOR, 2020). Se espera que esta amenaza aumente en el futuro; en México, se estima que la producción agrícola crecerá un 28% para el año 2030 (Santini et al., 2023). Más recientemente, la producción de aguacate se ha convertido en una amenaza apremiante, especialmente en el estado mexicano de Michoacán, que ha experimentado una deforestación a gran escala en los bosques de encinos y pinos. La deforestación se concentra a lo largo de la costa del Pacífico en la región de la Sierra Costa, así como en la parte central del estado, dos áreas de alta

biodiversidad. De hecho, un estudio reciente encontró que una cuarta parte de todas las plantaciones de aguacate en Michoacán se encuentran dentro de KBA (Cho et al., 2021; Denvir et al., 2022). Se pueden encontrar tendencias similares en la conversión de tierras en América Central, que ha convertido un mayor porcentaje de sus bosques para la agricultura que cualquier otra región importante en las últimas décadas (Carr et al., 2006).

El uso humano del paisaje (desarrollo residencial/comercial, minería, carreteras; 22 de 32 especies) y las poblaciones extremadamente pequeñas/restringidas (21 de 32 especies) también se identificaron comúnmente como amenazas. Muchos encinos Mesoamericanos tienen poblaciones pequeñas con distribuciones restringidas o fragmentadas. Descubrimos que el 73% de nuestras especies objetivo tienen una Extensión de Ocurrencia (EOO) inferior a 20000 km², que es el umbral establecido por la UICN para considerar una especie vulnerable a la extinción. Para varias especies, estas pequeñas poblaciones están ubicadas cerca de las principales ciudades (p. ej., *Q. flocculenta* cerca de Monterrey) o en áreas residenciales privilegiadas que están experimentando un rápido desarrollo (p. ej., *Q. dumosa* en la costa de Baja California).

La amenaza con mayor nivel de incertidumbre son las plagas y los patógenos: para 22 especies esta amenaza fue catalogada como “desconocida”. Faltan datos e investigaciones enfocadas en el impacto de plagas y patógenos en los encinos Mesoamericanos. Esto es similar a los resultados del análisis de vacíos de los encinos de EE. UU., que encontró que las plagas y/o patógenos figuraban como una amenaza para muy pocas especies (Beckman et al., 2019). Esto se atribuyó a la falta de datos sobre los impactos actuales y futuros causados por enfermedades y plagas. En las últimas décadas, se ha observado una mayor mortalidad de los encinos dentro de los bosques montanos mexicanos, con síntomas que incluyen canchales sangrantes en los troncos, muerte regresiva de las copas y deterioro (Davidson et al., 2003). En 1987 hubo un brote severo de mortalidad de encinos en el estado de Colima, México, que se extendió hasta afectar un área de más de 300 ha en 1997. El patógeno de la raíz *Phytophthora cinnamomi* fue identificado como la principal causa de mortalidad aquí (Tainter et al., 2000). A principios de la década de 2000, se determinó que la decadencia y muerte del encino en cinco estados mexicanos (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco y Nayarit) era causada principalmente por la infestación de *P. cinnamomi* e *Hypoxyylon atopunctatum* (Alvarado-Rosales et al., 2007). Se espera que esta amenaza sea más común en el futuro, ya que el cambio climático favorece la aparición de brotes de enfermedades provocadas por plagas y patógenos.



Ya se ha demostrado que el aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación causan la disminución de los bosques y un aumento en la proliferación

de *Phytophthora* sp. en ecosistemas forestales (Contreras-Cornejo et al., 2023).

Tabla 6. Amenazas identificadas para cada especie objetivo evaluada como En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerable.

	Recolección silvestre	Agricultura, silvicultura, ganadería, pastoreo.	Desarrollo residencial/comercial, minería, carreteras	Turismo/recreación	Modificación del régimen de incendios, contaminación, erradicación.	Competencia/perturbación de especies invasoras	Cambio climático	Pérdida de material genético	Plagas/patógenos	Población extremadamente pequeña/restringida
<i>Q. acutifolia</i>										
<i>Q. ajoensis</i>										
<i>Q. brandegeei</i>										
<i>Q. carmenensis</i>										
<i>Q. cedrosensis</i>										
<i>Q. costaricensis</i>										
<i>Q. cualensis</i>										
<i>Q. cupreata</i>										
<i>Q. delgadoana</i>										
<i>Q. devia</i>										
<i>Q. diversifolia</i>										
<i>Q. dumosa</i>										
<i>Q. engelmannii</i>										
<i>Q. flocculenta</i>										
<i>Q. galeanensis</i>										
<i>Q. graciliformis</i>										
<i>Q. gulielmi-treleasei</i>										
<i>Q. hintonii</i>										
<i>Q. hintoniorum</i>										
<i>Q. hirtifolia</i>										
<i>Q. insignis</i>										
<i>Q. macdougallii</i>										
<i>Q. meavei</i>										
<i>Q. miquihuanensis</i>										
<i>Q. mulleri</i>										
<i>Q. nixoniana</i>										
<i>Q. radiata</i>										
<i>Q. rubramenta</i>										
<i>Q. runcinatifolia</i>										
<i>Q. tomentella</i>										
<i>Q. tuitensis</i>										
<i>Q. vicentensis</i>										

Amenaza conocida
 Actualmente no es una amenaza
 Desconocida

ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN

Para cada especie amenazada, realizamos una revisión de la literatura y entrevistamos a expertos en especies para identificar las actividades de conservación actuales (Tabla 7). Se excluyeron las especies con Datos Insuficientes porque en general no se realizan trabajos de conservación para este grupo. La actividad más común fue la recolección silvestre y/o la curación *ex situ*, y el 84% (27 de 32) de las especies amenazadas informaron esta actividad. Se reportó protección de la tierra para el 38% de las especies. La protección de una especie en su hábitat nativo suele considerarse el método ideal para prevenir la extinción de especies y mantener la diversidad genética de una población y, en última instancia, es el objetivo a largo plazo (Potter et al., 2017). Las actividades de conservación *in situ* incluyen el establecimiento y mantenimiento de áreas protegidas, el manejo sostenible de la tierra, la reforestación y la restauración. La conservación en México depende en gran medida del desarrollo de áreas protegidas. A pesar de su valor de conservación, estas áreas a menudo enfrentan varios desafíos, incluida la deforestación, la fragmentación, los incendios forestales y la agricultura. Un estudio que investiga la efectividad de las áreas protegidas en México encontró que poco más del 54% de las áreas naturales protegidas son efectivas para prevenir el cambio de uso del suelo, mientras que el 23% fueron débilmente efectivas y el 25% no efectivas (Figuroa & Sánchez-Cordero, 2008). A la luz de estos desafíos, se reconoce ampliamente el valor de las colecciones vivas de alta calidad como complemento a la conservación *in situ* (Cavender et al., 2015). A través de herramientas como PlantSearch de BGCI, se puede acceder fácilmente a información sobre el número de colecciones vivas por especie. Es posible que las actividades de conservación distintas de las colecciones *ex situ*, como el monitoreo de poblaciones y los estudios de presencia, no ocurran con menos frecuencia, sino que simplemente tengan menos probabilidades de ser reportadas.

La segunda actividad de conservación más común fue la investigación, la cual se informó sobre el 66% de las especies amenazadas. En lugar de establecer arbitrariamente un requisito sobre el tema y la cantidad de estudios necesarios para que la investigación sea considerada una actividad de conservación, decidimos adoptar un enfoque amplio y contar la investigación como una actividad incluso si hay al menos un artículo publicado en el que la especie sea un tema. Por lo tanto, es probable que esta actividad de conservación sea una sobreestimación. A menudo faltan investigaciones sobre temas como la genética, la ecología, las amenazas y las tendencias poblacionales.

La actividad de conservación menos común reportada fueron las políticas de protección de especies, que actualmente sólo existen para dos especies: *Q. vicentensis* y *Q. macdougalii*. En El Salvador, *Q. vicentensis* se encuentra en la Lista Oficial de Especies de Vida Silvestre en peligro o en riesgo de extinción bajo la categoría de amenazada del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Quercus macdougalii* es el único encino endémico mexicano que figura como amenazado en la Lista Federal de Especies en Peligro de Extinción de México (NOM-59). También se trabaja en la elaboración de la Propuesta de Norma Estatal para la Protección de Plantas Nativas en Baja California, que ofrecería protección del encino a nivel estatal. Esta propuesta es una colaboración entre la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Baja California, el Museo de Historia Natural de San Diego, Terra Peninsular, San Diego Zoo Wildlife Alliance y Baja Rare Plants Project (Mariana Delgado Fernández, comunicación personal, 2024). Si tiene éxito, este plan tiene el potencial de replicarse en todo México para ofrecer aún más especies de encinos con protección legal.

También se informaron con menos frecuencia la reintroducción, el refuerzo y/o la translocación, así como la educación, la capacitación y/o la extensión. Probablemente esto se deba al hecho de que para que estas actividades se lleven a cabo, primero deben llevarse a cabo varias acciones de conservación diferentes. Por ejemplo, para que un programa de reintroducción tenga éxito, se deben realizar estudios de ocurrencia, obtener permisos, desarrollar protocolos de propagación y asegurar la tierra. Como era de esperar, una gran mayoría de las especies que enumeraron el refuerzo de la reintroducción y/o la translocación como una actividad de conservación también informaron que se estaban realizando estudios de monitoreo/ocurrencia de la población, así como programas de propagación y/o reproducción para la especie.



Quercus macdougalii (Francisco Garin)

Las dos especies con la conservación más completa son *Q. tomentella* y *Q. insignis*. Estas son las únicas especies amenazadas para las cuales se registraron ocho de nueve actividades de conservación. Hay un grupo conservacionista muy activo, Conservación de Islas, que trabaja con *Q. tomentella* en la Isla Guadalupe. Cada uno de los 50 adultos conocidos en la isla es monitoreado de cerca, hay campañas activas de educación y reintroducción, y se propaga en un vivero local. *Quercus insignis* es una especie de amplia distribución que se encuentra en el sur de México, Guatemala, Belice, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y el oeste de Panamá. Esta especie es el foco de una variedad de actividades de conservación, especialmente en Costa Rica, donde se utiliza como especie emblemática para promover la conservación del hábitat del bosque nuboso montano, extremadamente biodiverso pero también altamente amenazado. Un grupo multidisciplinario de partes interesadas, incluidas organizaciones conservacionistas, científicos locales, investigadores, así como jardines botánicos y arboretos, participan activamente en la conservación de *Q. insignis*. Actualmente se encuentra en 24 colecciones *ex situ*, lo que la convierte en una de las especies Mesoamericanas más comunes en colecciones de todo el mundo. Esta especie también resalta la importancia de los estudios de campo. Desde 2015 se ha realizado un esfuerzo para validar puntos de ocurrencia antiguos y realizar estudios para nuevas poblaciones. De los 251 puntos de ocurrencia que tienen fecha de recolección u observación, se han agregado un 20% desde 2015. Para esta especie, también se está publicando un plan de acción integral para Costa Rica (Acevedo-Mairena et al., en prep). Consulte el Caso de Estudio 1 (página 31) para obtener más información sobre las actividades de conservación centradas en esta especie. *Quercus engelmannii* y *Q. brandegeei* también se encuentran entre las especies principales con mayor variedad de actividades de conservación. Cada una de estas especies se encuentra en colecciones *ex situ*, ha sido reintroducida en el medio silvestre, es el foco de campañas educativas exitosas y hay proyectos de investigación en curso que involucran a una variedad de partes interesadas para cada una.

Hay siete especies donde se reportaron dos o menos actividades de conservación: *Q. cupreata*, *Q. diversifolia*, *Q. flocculenta*, *Q. gulielmi-treleasei*, *Q. mulleri*, *Q. nixoniana* y *Q. runcinatifolia*. Para *Q. nixoniana* y *Q. mulleri*, las únicas actividades de conservación son la gestión sostenible de la tierra y la investigación. Para ambas especies, la investigación que existe no es extensa y consiste en una

pequeña cantidad de artículos publicados (ver Perfiles de Especies para detalles de la investigación, Apéndice G). Además, la gestión sostenible de la tierra sólo se aplica a una pequeña parte de su área de distribución y no está claro si tiene algún efecto en el hábitat del encino. Por lo tanto, se podría argumentar que debido al alcance limitado de la investigación y la gestión del territorio, es más apropiado considerar que no existe conservación para estas especies. A falta de medidas de recuperación específicas, las perspectivas actuales son sombrías.

También preguntamos a los expertos de cada especie cuáles consideran que son las principales prioridades para futuras acciones de conservación. En varios casos, se identificaron actividades de conservación prioritarias que ya se están llevando a cabo para una especie. Esto indica que se necesita un esfuerzo adicional en esta categoría para garantizar la salud de la especie. Para algunas especies se seleccionó una sola actividad de conservación y para otras se determinó que múltiples actividades eran una prioridad. En cada caso, el número de prioridades quedó a discreción del experto en la especie. Lo ideal sería que se llevarán a cabo simultáneamente muchas actividades de conservación diferentes, tanto *in situ* como *ex situ*, para cada especie amenazada. Sin embargo, ante el tiempo y los recursos limitados, es útil priorizar las actividades que tienen el mayor potencial de impacto.

Había tres actividades de conservación que comúnmente se consideraban una prioridad para el futuro: 1) investigación, 2) programas de propagación y/o mejoramiento, y 3) educación, divulgación o capacitación. Los temas de investigación que se mencionaron comúnmente incluyen biología reproductiva, estudios demográficos, genética de poblaciones y taxonomía/filogenética. Todavía existe una considerable incertidumbre taxonómica entre especies de encino estrechamente relacionadas. Esto es especialmente cierto para los encinos arbustivos mexicanos, que a menudo reciben menos atención que otras formas de crecimiento y las cuestiones taxonómicas básicas están sin resolver (De Luna-Bonilla et al., 2024). Las especies generalizadas que se encuentran en varios tipos de hábitat diferentes también merecen una mayor investigación, ya que estudios recientes sugieren que es posible que sea necesario dividir estas especies y que potencialmente pueden incluir endémicas que no se conocen actualmente (McCauley et al., 2019; Morales-Saldaña et al., 2021). Para algunas especies, como *Q. ajoensis*, se deben realizar investigaciones para verificar la identidad taxonómica de la especie en México antes de que se realicen más esfuerzos de conservación.

Tabla 7. Actividades de conservación actuales identificadas para cada especie objetivo evaluada como En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerable. Un ● indica actividades consideradas prioritarias. Nota: la protección de la tierra es una actividad de conservación si al menos el 30% del área de distribución nativa inferida de una especie está protegida.

	Protección de la tierra	Gestión sostenible de la tierra	Monitoreo de población y/o encuestas de ocurrencia	Coleccionismo silvestre y/o curación ex situ	Programas de propagación y/o reproducción.	Reintroducción, refuerzo y/o translocación	Investigación	Educación, extensión y/o capacitación.	Políticas de protección de especies
<i>Q. acutifolia</i>	●		●		●			●	
<i>Q. ajoensis</i>			●		●				
<i>Q. brandegeei</i>			●			●	●	●	
<i>Q. carmenensis</i>			●		●				
<i>Q. cedrosensis</i>									
<i>Q. costaricensis</i>			●		●	●			
<i>Q. cualensis</i>	●		●	●					
<i>Q. cupreata</i>	●		●		●		●	●	
<i>Q. delgadoana</i>	●				●	●			
<i>Q. devia</i>							●		●
<i>Q. diversifolia</i>							●		
<i>Q. dumosa</i>				●				●	
<i>Q. engelmannii</i>	●		●						
<i>Q. flocculenta</i>								●	●
<i>Q. galeanensis</i>			●				●		
<i>Q. graciliformis</i>			●						
<i>Q. gulielmi-treleasei</i>	●	●					●	●	
<i>Q. hintonii</i>			●		●		●	●	
<i>Q. hintoniorum</i>			●	●		●			
<i>Q. hirtifolia</i>	●			●	●	●			
<i>Q. insignis</i>	●					●		●	
<i>Q. macdougallii</i>	●				●	●		●	
<i>Q. meavei</i>	●			●		●			
<i>Q. miquihuanensis</i>				●				●	
<i>Q. mulleri</i>	●						●	●	
<i>Q. nixoniana</i>	●						●	●	
<i>Q. radiata</i>							●	●	
<i>Q. rubramenta</i>	●				●	●	●	●	
<i>Q. runcinatifolia</i>			●		●		●		
<i>Q. tomentella</i>				●	●				
<i>Q. tuitensis</i>	●			●					
<i>Q. vicentensis</i>			●		●	●	●		

Actividad de conservación pasada o presente
 No es una actividad de conservación
 Desconocida



Los programas de propagación y/o mejoramiento generalmente se mencionan junto con la reintroducción o el refuerzo. Esto es de esperar, ya que es necesario un programa de propagación exitoso para apoyar los esfuerzos de reintroducción, especialmente cuando las semillas no están disponibles en el hábitat nativo de la especie. La reintroducción y el refuerzo generalmente se priorizan en los casos en que las poblaciones silvestres son pequeñas o están fragmentadas (p. ej., *Q. mulleri*), la regeneración en la naturaleza no tiene éxito (p. ej., *Q. brandegeei*) o las poblaciones han disminuido debido a amenazas como la agricultura o el pastoreo (p. ej., *Q. delgadoana*; Beckman et al., 2019). También se mencionó la necesidad de considerar como prioridad la migración asistida para especies como *Q. macdougallii*, *Q. rubramenta* y *Q. delgadoana*. La migración asistida es el movimiento de especies inducido por el hombre hacia sitios donde se proyecta que existirá su hábitat preferido en el futuro (generalmente a mayor altitud y hacia los polos de cada hemisferio) como resultado del cambio climático (Sáenz-Romero et al., 2020). Esto requeriría la recolección de bellotas en el medio silvestre, la propagación de plántulas, modelos climáticos para determinar el momento y la ubicación del movimiento y, finalmente, la translocación de las plántulas. Recientemente se han realizado pruebas de campo de migración asistida en México para *Q. insignis* (Toledo-Aceves et al., 2023), *Q. germana* y *Q. sartorii* (Toledo-Aceves & del-Val, 2021). Las tres especies mostraron altas tasas de supervivencia después de cuatro años cuando se trasplantaron a elevaciones superiores a su área de distribución típica.

La educación, la divulgación y la capacitación también figuraron como principales prioridades de conservación. Los encinos Mesoamericanos amenazados se encuentran a menudo en tierras y ejidos de propiedad privada. Es una práctica común dentro de México utilizar el encino como leña y carbón vegetal. La divulgación a los propietarios de tierras y miembros de la comunidad sobre el valor de conservación de los encinos en sus propiedades, así como el manejo sostenible de la tierra, podrían desempeñar un papel fundamental en la preservación de estas especies. También se sabe que varias de nuestras especies objetivo se encuentran en reservas indígenas. Por ejemplo, algunas poblaciones de *Q. radiata* se encuentran en tierras O'dam (Sureste Tepehuan), Audam (Suroeste Tepehuan) y Wixárika (Huichol) (M. Socorro González Elizondo, comunicación personal, 2023). Los pueblos indígenas desempeñan un papel crucial en la conservación equitativa y eficaz, y llegar a estas comunidades debería ser una máxima prioridad.

PUNTAJE PARA LA ACCIÓN DE CONSERVACIÓN

Para cada especie objetivo, calculamos una puntuación para la Acción de Conservación y priorizar las especies de acuerdo a los esfuerzos de conservación *ex situ* e *in situ* que se han realizado, modificando los métodos descritos en Houry et al. (2020). Las puntuaciones finales oscilaron entre 0–100, donde las puntuaciones cercanas a 100 indican una conservación integral *in situ* y *ex situ*, y las puntuaciones cercanas a 0 indican una conservación deficiente. La priorización en el contexto de este análisis de vacíos no debe interpretarse como una herramienta demasiado prescriptiva, sino más bien como una guía. Alentamos a los miembros de GCCO, jardines botánicos y académicos a priorizar las acciones de investigación y conservación de cualquier encino raro o amenazado que se encuentre en su región.

Hubo 19 especies que tuvieron una Puntuación Final de Acción de Conservación < 25, lo que las marcó como prioridad urgente (Figura 17). Estas 19 especies no están asociadas con una región geográfica en particular, sino que ocurren en una variedad de ecorregiones en todo México y Guatemala. Hubo tres especies que recibieron una puntuación de cero: *Q. ignaciensis*, *Q. tuitensis* y *Q. aerea*. *Quercus tuitensis* es endémico de Jalisco, México, con una extensión de ocurrencia (EOO) de 62 km². Esta especie está evaluada como Vulnerable, no se encuentra en ninguna colección *ex situ* y su área de distribución no se encuentra dentro de áreas protegidas. Debe considerarse una alta prioridad tanto para la recolección *ex situ* como para el establecimiento en áreas protegidas. Tanto *Q. aerea* como *Q. ignaciensis* están evaluados como Datos Insuficientes y, al igual que las especies antes mencionadas, no se encuentran en colecciones *ex situ* y su área de distribución nativa no está protegida. Se debe priorizar a estas especies para realizar investigaciones y estudios adicionales para comprender mejor la distribución, el tamaño, las tendencias y las amenazas de la población.

El Puntaje de Acción de Conservación también podría usarse para priorizar especies para conservación entre las 22 especies objetivo que actualmente no se encuentran en ninguna colección *ex situ*. El trabajo de exploración, recolección silvestre, propagación y coordinación con jardines locales necesarios para cerrar esta brecha requerirá una cantidad significativa de tiempo, recursos y esfuerzo. Sugerimos que la atención se centre primero en aquellas 22 especies que tienen poco o nada de su área de distribución nativa cubierta por áreas protegidas.

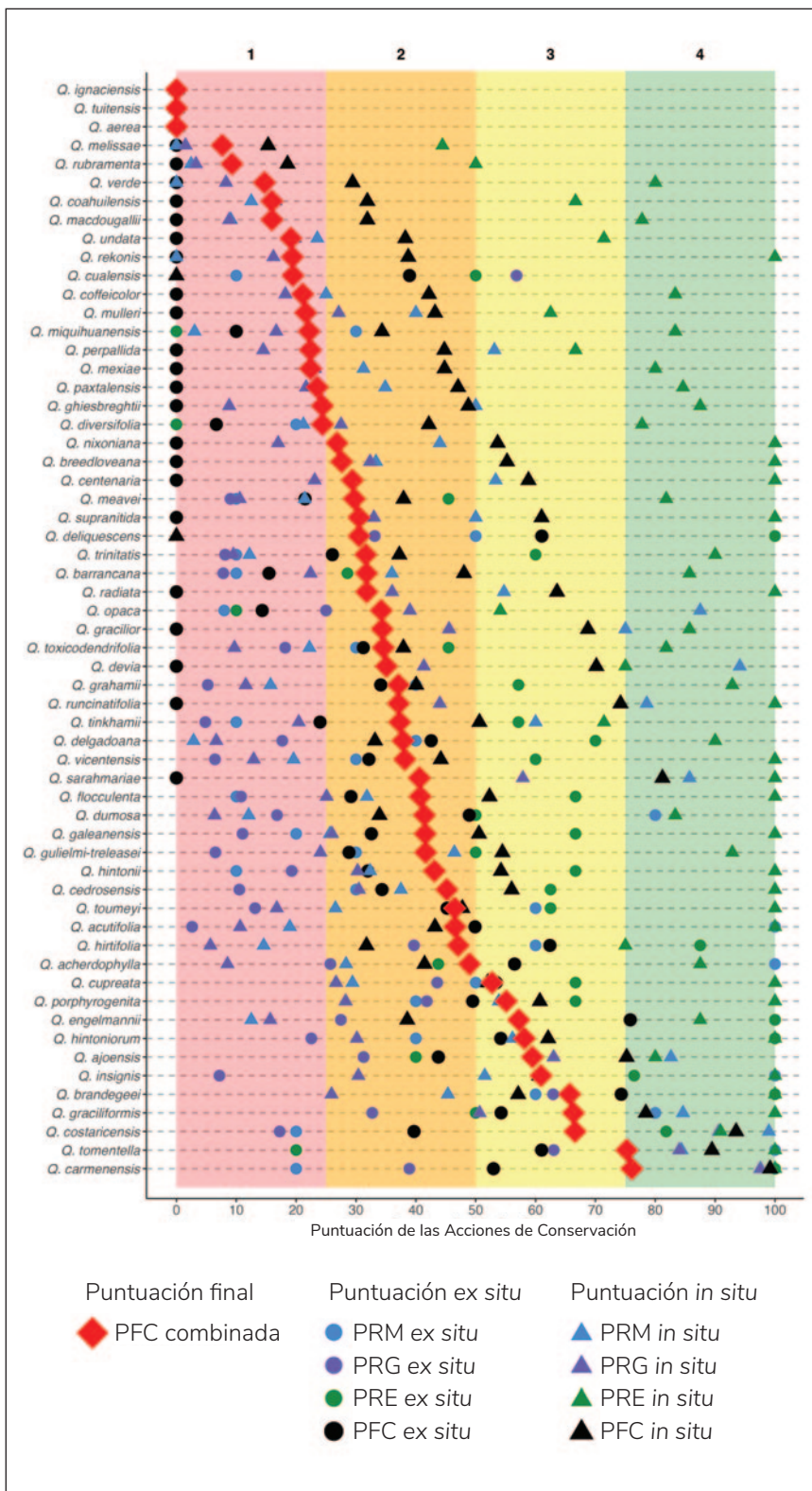


Figura 17. Resumen de la Puntuación de las Acciones de Conservación para 59 especies objetivo. Las puntuaciones van desde 0–100, donde 100 indica una conservación integral y 0 indica un estado de conservación extremadamente pobre.

Hay 16 especies con menos del 10% de su área de distribución protegida, y ocho de ellas no se encuentran actualmente en ninguna colección ex situ, o no tienen individuos de procedencia silvestre en las colecciones: *Q. ignaciensis*, *Q. tuitensis*, *Q. aerea*, *Q. melissae*, *Q. rubramenta*, *Q. verde*, *Q. ghesbreghtii* y *Q. macdougallii*. *Quercus macdougallii* debería ser una prioridad especial para la conservación ex situ, ya que se prevé que esta especie perderá el 100% de su hábitat preferido para el año 2061–2080 como resultado del cambio climático (Figura 16).

Once especies recibieron una Puntuación de Acción de Conservación de 50 o más. *Quercus carmenensis* obtuvo la puntuación más alta, 76. Cabe destacar que una especie que recibe una puntuación final relativamente alta no indica que esté a salvo de la extinción y no requiere medidas de conservación. Aunque el área de distribución nativa de estas especies puede estar relativamente bien protegida y pueden estar representadas en colecciones ex situ, todavía están consideradas amenazadas en la Lista Roja de la UICN. En lugar de esfuerzos adicionales de recolección ex situ o de hábitat protegido, estas especies pueden beneficiarse más de actividades de conservación como el refuerzo de la población, la restauración del hábitat o la educación. Por ejemplo, *Q. brandegeei* tiene una Puntuación de Acción de Conservación de 66, lo que la convierte en la quinta especie con la puntuación más alta. Esta especie se encuentra actualmente en 10 colecciones ex situ, y muchos puntos de ocurrencia conocidos se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna.



Bellota *Quercus insignis*
(Diego Gómez Hoyos)

Sin embargo, la depredación de las bellotas por parte de los cerdos, el pisoteo y la herbivoría por parte de animales domésticos de los ranchos dentro de la reserva, y el cambio climático han resultado en una falta de regeneración de esta especie (Cavender-Bares et al., 2015; Denvir & Westwood, 2016; Denvir et al., 2019). En este caso, la restauración activa

y las plantaciones de enriquecimiento en colaboración con la comunidad de San Dionisio han sido cruciales para revertir el declive de este carismático encino (Alvarez-Clare et al., en preparación; Morton Arboretum, 2023). Para obtener más información sobre este proyecto, visite mortonarb.org/arroyo.

Caso de Estudio 4: *Quercus rubramenta* -una historia de éxito para la conservación ex situ

(Autores: Maricela Rodríguez-Acosta, Coordinadora del GCCO México y Cen. Am.; Susana Valencia-A, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Allen J. Coombes, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP); Aaron Sandoval y Sergio C. Marínes Gómez, Protección de la Fauna Mexicana (Norte))



Aarón Sandoval y su sobrina plantando *Quercus rubramenta* plántulas in situ en el estado de Guerrero, México (Paola Aldaba)

El proyecto patrocinado por la 'International Oak Society' (IOS), "*Quercus rubramenta* en el estado de Guerrero, un árbol gigante poco estudiado", inició en la comunidad Estación Toro Muerto en 2022 con el objetivo principal de explorar la distribución, estado poblacional y propagación de esta especie. Clasificada como Vulnerable en la Lista Roja de la UICN, no existen colecciones vivas de esta especie, en jardines botánicos ni en áreas naturales protegidas conocidas, y el conocimiento de su propagación y cultivo se considera prioritario para su conservación en su hábitat natural. En este proyecto trabajamos en colaboración con la ONG de Protección Especial de Fauna (Profauna) y un técnico forestal local encargado de la recolección de semillas y producción de plantas en la comunidad.

Luego de recolectar las bellotas, se cultivaron en la comunidad, y algunas fueron donadas al Jardín Botánico de la BUAP para su propagación y siembra en diferentes colecciones vivas de jardines mexicanos. A seis meses de iniciado el proyecto, en el vivero comunitario crecen más de 1,900 plantas, las cuales han alcanzado un tamaño superior a los 20 cm. Un aspecto único de este proyecto es la participación de toda la familia en esta guardería cuasi familiar.

A través de comunicación con el Comisionado Seniorino Sandoval Zaragoza, la comunidad sabe que:

- *Quercus rubramenta* es un árbol importante para la conservación y protección de los bosques de la zona.
- Se requiere producción vegetal para recuperar las áreas perturbadas del bosque y garantizar la permanencia de esta especie.
- Los árboles que se propagan quedan al cuidado de los habitantes de la comunidad.

Debido a la lejanía de estos bosques, mantienen un buen estado de conservación. Los árboles adultos alcanzan tamaños entre 50–60 m de altura con diámetros de 1.30–1.60 m, y se observa evidencia de regeneración, con diferentes tamaños y edades de las plantas. La principal amenaza detectada es la tala excesiva y el saqueo de madera.

El trabajo que el GCCO México y Centroamérica están realizando en conjunto con la IOS para esta especie, muestra una nueva forma de abordar el trabajo de conservación de especies de *Quercus* que se encuentran en áreas consideradas de difícil acceso, así como también cómo incluir la investigación en la conservación en las actividades de conservación a través de la colaboración.

CONCLUSIONES

Quercus coahuilensis (J.S. Strijk, Alliance for Conservation Tree Genomics)

Para este análisis de vacíos, realizamos una extensa revisión de la literatura, distribuimos y analizamos los resultados de estudios globales *ex situ* a lo largo de seis años, y entrevistamos y nos reunimos con docenas de expertos de países de toda Mesoamérica. A través de una estrecha colaboración con expertos regionales, creamos un conjunto de datos curado de más de 4400 puntos de ocurrencia y generamos más de 170 mapas. Al determinar las amenazas, priorizar las especies para las acciones de conservación e identificar las lagunas de conocimiento, nuestro análisis tiene como objetivo guiar e inspirar futuros esfuerzos de conservación de los encinos amenazados en Mesoamérica.

La identificación precisa de la distribución nativa de una especie es un primer paso crucial en cualquier análisis de vacíos de conservación. Recopilamos y limpiamos datos de 59 especies amenazadas y con Datos Insuficientes de una variedad de conjuntos de datos disponibles públicamente (por ejemplo, GBIF, Lista Roja, iDigBio), registros de herbarios, literatura publicada y conversaciones con expertos. Este conjunto de datos será un recurso valioso para futuros estudios sobre los encinos Mesoamericanos, incluido el desarrollo de modelos de distribución de especies (Loza et al., en preparación). El conjunto de datos debe continuar actualizándose y depurándose en el futuro a medida que se produzcan cambios taxonómicos, se revisen los registros del herbario y se realicen trabajos adicionales de encuestas y seguimiento de la población. Es crucial que los profesionales de la conservación, en todos los sectores, trabajen en colaboración en la recopilación e intercambio de datos.

Este análisis destaca la necesidad de ampliar las colecciones *ex situ* de especies amenazadas y con Datos Insuficientes en Mesoamérica, lo cual ha sido identificado como una prioridad por el GCCO. En 2022, había 22 taxones objetivo que no se encontraron en ninguna colección *ex situ*. Además, incluso cuando los individuos de procedencia silvestre se mantienen



Hábitat de *Quercus hirtifolia* (Maricela Rodríguez-Acosta)

en colecciones *ex situ*, normalmente se recolectan en un área geográfica muy estrecha en un pequeño número de ecorregiones en relación con el área de distribución nativa de la especie. Además, el 62% de las especies de procedencia silvestre que se conservan en colecciones *ex situ* están representadas por diez individuos o menos. Los mapas presentados en este análisis se pueden utilizar para identificar poblaciones y ecorregiones que están especialmente subrepresentadas *ex situ* y deberían ser el objetivo de futuros esfuerzos de recopilación. Debería ser una prioridad maximizar la profundidad y amplitud de la diversidad genética de las colecciones *ex situ*, en relación con las poblaciones silvestres. Este es un desafío urgente, ya que se requieren altos niveles de diversidad genética para que las especies de árboles se adapten a un clima cambiante (Potter et al., 2017).





Plantación de *Quercus tomentella* en la Isla Guadalupe, México (archivo GECI/J.A. Soriano)

El cultivo *ex situ* de especies amenazadas es especialmente importante para los encinos, ya que se consideran especies excepcionales y no pueden almacenarse con los métodos convencionales de banco de semillas. Es una prioridad apoyar instituciones que albergan colecciones *ex situ* como arboretos y jardines botánicos dentro del país de origen de la especie. La Meta 8 de la Estrategia Mundial para la Conservación de las Plantas recomienda específicamente que, cuando sea posible, se establezcan colecciones *ex situ* en el país de origen de la especie (Convention on Biological Diversity, 2011). Este es un objetivo importante ya que la mayoría de los jardines están ubicados fuera de las regiones con mayor biodiversidad (Westwood et al., 2021). Según BGCI GardenSearch, hay 91 jardines botánicos y arboretos en Mesoamérica, pero sólo nueve informaron tener colecciones de un encino Mesoamericano nativo. Debemos seguir priorizando el desarrollo de la capacidad de los jardines locales para que puedan enfrentar el desafío de aumentar la representación de encinos nativos *ex situ*. Este trabajo debe realizarse en

conjunto con el apoyo a la creación de áreas protegidas donde se puedan cultivar especies prioritarias y, cuando sea posible, minimizar las amenazas.

Uno de los objetivos de un análisis integral de vacíos es arrojar luz sobre lo que no sabemos. Mesoamérica es una de las regiones con mayor biodiversidad del planeta. Aunque recientemente se han producido importantes avances en el estudio de la flora única de esta región, a menudo sigue faltando conocimiento sobre la distribución de las especies, el tamaño de la población y las amenazas. Esto es especialmente cierto en el caso de los encinos, que plantean sus propios desafíos. Muchas especies de encinos Mesoamericanos amenazadas crecen en áreas de difícil o inseguro acceso, pueden ser extremadamente difíciles de identificar en el campo, se hibridan fácilmente y la taxonomía de ciertas especies a menudo es cuestionada. En Mesoamérica existen 27 especies de encinos con Datos Insuficientes. Procedencia desconocida, incertidumbre taxonómica, registros pocos o antiguos, amenazas inciertas, tamaño de población pequeño o distribución limitada son las justificaciones más comunes para evaluar una especie como Datos Insuficientes (Bland et al., 2016). Estudios recientes sugieren que las especies con Datos Insuficientes en su conjunto pueden estar más amenazadas que las especies con datos suficientes y, sin embargo, suelen estar excluidas de las prioridades de conservación y de las oportunidades de financiamiento (Borgelt et al., 2022). Estas especies deben ser priorizadas para la investigación y el trabajo de campo. Es de esperar que esto conduzca a una mayor comprensión de su estado y, en última instancia, permita identificarlos como amenazados, casi amenazados o de menor preocupación en la Lista Roja de la UICN.

Frente a amenazas tan apremiantes, es esencial que los profesionales de la conservación trabajen en colaboración entre sectores para compartir conocimientos y recursos. Uno de esos grupos es el GCCO México y Cen. Am., que reúne una red de instituciones y expertos que trabajan hacia el objetivo común de prevenir la extinción. Lanzado en febrero de 2021, el GCCO México y Cen. Am. organiza talleres de propagación, apoya el desarrollo de metacolectores de encinos prioritarios en toda la región y lidera el Programa de Capacitación de Administradores de Especies, que trabaja con socios locales para desarrollar capacidades en identificación, propagación y restauración de especies amenazadas. Redes como estas que reúnen a grupos multidisciplinarios son vitales para abordar un desafío de conservación de esta magnitud. Esperamos que este análisis de vacíos facilite aún más las asociaciones, apoye la priorización de acciones de conservación y, en última instancia, avance hacia el objetivo de conservar los encinos Mesoamericanos amenazados.



REFERENCIAS

Quercus miquihuanensis (Arturo Mora Olivo)

Acevedo-Mairena, H., Orozco, K. & Álvarez-Clare, S. 2024. Plan de conservación para el roble blanco, *Quercus insignis*, en Costa Rica. The Morton Arboretum. Lisle, IL.

Alvarado-Rosales, D., de L. Saavedra-Romero, L., Almaraz-Sánchez, A., Tlapal-Bolaños, B., Trejo-Ramírez, O., Davidson, J. M., Kliejunas, J. T., Oak, S., O'Brien, J. G., Orozco-Torres, F., & Quiroz-Reygadas, D. 2007. Agentes asociados y su papel en la declinación y muerte de encinos (*Quercus*, *Fagaceae*) en el centro-oeste de México. *Polibotánica* 23: 1–21.

Ballesteros, D., & Pritchard, H. W. 2020. The cryobiotechnology of oaks: An integration of approaches for the long-term ex situ conservation of *Quercus* Species. *Forests* 11(12): 1281. <https://doi.org/10.3390/f11121281>

Beckman, E., Meyer, A., Denvir, A., Gill, D., Man, G., Pivorunas, D., Shaw, K., & Westwood, M. 2019. *Conservation Gap Analysis of Native U.S. Oaks*. Lisle, IL: The Morton Arboretum.

Beckman, E., Meyer, A., Pivorunas, D., Hoban, S., & Westwood, M. 2021. *Conservation gap analysis of U.S. trees in nine priority genera*. Lisle, IL: The Morton Arboretum.

Beckman Bruns, E. 2023. *Conservation Gap Analysis Methodology User Guide, Version 1.0*. The Morton Arboretum. <https://mortonarb.org/gap-analysis-materials/>

Beckman Bruns, E., Houry, C. K., McCarry, N., Meyer, A., Mims, R., & Warschefsky, E. 2023a. Distributions and conservation status of North American fruit and nut tree crop wild relatives. <https://northamericanfruitnuttreecwr.github.io>

Beckman Bruns, E., Still, S. M., Good, K., & Hoban, S. 2023b. *Conservation-gap-analysis (Version 1.0.0) [Computer software]*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8246949>

Beckman Bruns, E., Westwood, M., Griffith, M. P., Hipp, A. L., Lobdell, M., Meyer, A., Rollinson, C. R., Still, S., Worcester, L., & Hoban, S. 2023c. Quantifying endangerment value: a promising tool to support curation decisions. *Sibbaldia: The International Journal of Botanic Garden Horticulture* 22: <https://doi.org/10.24823/Sibbaldia.2022.1970>

Beech, E., Rivers, M., Oldfield, S., & Smith, P. P. 2017. GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry* 36(5): 454–489. DOI: 10.1080/10549811.2017.1310049

BGCI. 2014. *Building Living Collections to Support Conservation: a guide for public gardens*. Available at https://www.bgci.org/files/UnitedStates/MBC_Collections_Guide_2014.pdf. Accessed February 2024.

BGCI. 2022. *PlantSearch*. Botanic Gardens Conservation International. Richmond, U.K. Disponible en https://tools.bgci.org/plant_search.php. Visitado en enero del 2022.

BGCI. 2023. *GardenSearch*. Botanic Gardens Conservation International. Richmond, U.K. Disponible en <http://gardensearch.bgci.org>. Visitado en noviembre del 2023.

BIEN. 2023. Occurrence data downloaded via the R package 'BIEN'. Accessed January 2023.

Bland, L. M., Bielby, J., Kearney, S., Orme, C. D. L., Watson, J. E. M., & Collen, B. 2016. Toward reassessing data-deficient species. *Conservation Biology* 31(3): 531–539. <https://doi.org/10.1111/cobi.12850>

Borgelt, J., Dorber, M., Høiberg, M. A., & Verones, F. 2022. More than half of data deficient species predicted to be threatened by extinction. *Communication Biology* 5 (679): <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03638-9>

Boucher, O., Denvil, S., Levavasseur, G., Cozic, A., Caubel, A., Foujols, M.-A., Meurdesoif, Y., Cadule, P., Devilliers, M., Ghattas, J., Lebas, N., Lurton, T., Mellul, L., Musat, I., Mignot, J., & Cheruy, F. 2018. IPSL IPSL-CM6A-LR model output prepared for CMIP6 CMIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1534>

California Natural Diversity Database (CNDDB). 2023. [Internet]. California Department of Fish and Wildlife [2023].

Carr, D., Barbieri, A., Pan, W., & Iranavi, H. 2006. Agricultural change and limits to deforestation in Central America. In F. Brouwer and B. A. McCarl (Eds.), *Agriculture and climate beyond 2015*. (pp 91–107) Springer.

- Carrero, C., Jerome, D., Beckman, E., Byrne, A., Coombes, A. J., Deng, M., González-Rodríguez, A., Hoang, V. S., Khoo, E., Nguyen, N., Robiansyah, I., Rodríguez-Correa, H., Sang, J., Song, Y-G., Strijk, J. S., Sugau, J., Sun, W. B., Valencia-Ávalos, S., & Westwood, M. 2020. *The Red List of Oaks 2020*. The Morton Arboretum. Lisle, IL.
- Cavender, N., Westwood, M., Bechtold, C., Donnelly, G., Oldfield, S., Gardner, M., Rae, D., & McNamara, W. 2015. Strengthening the conservation value of ex situ tree collections. *Oryx* 49(3): 416–424. <https://doi.org/10.1017/S0030605314000866>
- Cavender-Bares, J., González-Rodríguez, A., Eaton, D. A. R., Hipp, A. A. L., Beulke, A. & Manos, P. S. 2015. Phylogeny and biogeography of the American live oaks (*Quercus* subsection *Virentes*): a genomic and population genetics approach. *Molecular Ecology* 24: 3668–3687. doi: 10.1111/mec.13269
- Chamberlain, S., Barve, V., Mcglinn, D., Oldoni, D., Desmet, P., Geffert, L., & Ram, K. 2024. `rgbif`: Interface to the Global Biodiversity Information Facility API. R package version 3.7.2, <<https://CRAN.R-project.org/package=rgbif>>
- Chamberlain, S., & Boettiger, C. 2017. “R Python, and Ruby clients for GBIF species occurrence data.” *PeerJ PrePrints*. <<https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3304v1>>
- Cho, K., Goldstein, B., Gounaridis, D., & Newell, J. P. 2021. Where does your guacamole come from? Detecting deforestation associated with the export of avocados from Mexico to the United States. *Journal of Environmental Management* 278(1): <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111482>
- CMCC Foundation. 2021. Mexico: G20 Climate Risk Atlas. Available at <https://files.cmcc.it/g20climaterisks/Mexico.pdf>. Accessed December 2023.
- CONAFOR. 2020. *Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001–2018 mediante el método de muestreo*. Documento Técnico, Jalisco, México. Available at <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7767Resumen%20Ejecutivo%20Deforestaci%C3%B3n%202001-2018%20M%C3%A9xico.pdf>. Visitado en Abril del 2024.
- Conservation Measures Partnership. 2016. Classification of conservation actions and threats (Version 2.0). Disponible en <https://conservationstandards.org/library-item/threats-and-actions-taxonomies/> Visitado en enero del 2024.
- Contreras-Cornejo, H. A., Larsen, J., Fernández-Pavía, S. P., & Oyama, K. 2023. Climate change, a booster of disease outbreaks by the plant pathogen *Phytophthora* in oak forests. *Rhizosphere* 27: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100719>
- Convention on Biological Diversity. 2011. Global Strategy for Plant Conservation. Disponible en <https://www.cbd.int/gspc/targets.shtml>. Visitado en abril del 2024.
- Convention on Biological Diversity. 2024. Consolidated guidance notes for the targets of the Kunming-Montreal Biodiversity Framework. Disponible en https://www.cbd.int/gbf/targets/notes.shtml#_Toc157069081. Visitado en abril del 2024.
- Crowley, D. 2019. *Prioritization of Acer species and populations for ex situ conservation based on threat level and current representation in living collections* [Unpublished master's thesis]. University of Reading. Reading, Berkshire, England.
- Cuervo-Robayo, A. P., Uerta, C., Gómez-Albores, M. A., Meneses-Mosquera, A. K., Téllez-Valdés, O., & Martínez-Meyer, E. 2020. One hundred years of climate change in Mexico. *PLoS One* 15(7): <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209808>
- Davidson, O'Brien, Oak, & Kliejunas. 2003. Report on a Site Visit to Mexico – Muerte del Encino. US Forest Service. Disponible en https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fsbdev2_026292.pdf. Visitado en enero del 2024.
- De Luna-Bonilla, O. Á., Valencia-A, S., Ibarra-Manríquez, G., Morales-Saldaña, S., Tovar-Sánchez, E., & González-Rodríguez, A. 2024. Leaf morphometric analysis and potential distribution modelling contribute to taxonomic differentiation in the *Quercus microphylla* complex. *Journal of Plant Research* 137: 3–19. <https://doi.org/10.1007/s10265-023-01495-z>
- Denvir, A., Cavender-Bares, J. & González-Rodríguez, A. 2019. The role of gardens in integrated conservation practice: the case of conserving *Quercus brandegeei* in Baja California Sur, Mexico. *Sibbaldia: The International Journal of Botanic Garden Horticulture* 17: 177–188: <https://doi.org/10.24823/Sibbaldia.2019.273>
- Denvir, A., Arima, E. Y., González-Rodríguez, A., & Young, K. R. 2022. Ecological and human dimensions of avocado expansion in México: Towards supply-chain sustainability. *Abmio* 51(1): 152–166. doi: 10.1007/s13280-021-01538-6
- Denvir, A. & Westwood, M. 2016. *Quercus brandegeei*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T30726A2795363. Disponible en <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T30726A2795363.en>. Visitado en enero del 2024.
- Derguy, M. R., Martinuzzi, S., & Arturi, M. 2022. Bioclimatic changes in ecoregions of southern South America: Trends and projections based on Holdridge life zones. *Austral Ecology* 47:580–589. <https://doi.org/10.1111/aec.13142>
- Di Santo, L. N., & Hamilton, J. A. 2020. Using environmental and geographic data to optimize ex situ collections and preserve evolutionary potential. *Conservation Biology* 35(2): 733–744. <https://doi.org/10.1111/cobi.13568>
- Dix, M., Bi, D., Dobrohotoff, P., Fiedler, R., Harman, I., Law, R., Mackallah, C., Marsland, S., O'Farrell, S., Rashid, H., Srbinovsky, J., Sullivan, A., Trenham, C., Vohralik, P., Watterson, I., Williams, G., Woodhouse, M., Bodman, R., Dias, F. B., Domingues, C. M., Hannah, N., Heerdegen, A., Savita, A., Wales, S., Allen, C., Druken, K., Evans, B., Richards, C., Ridzwan, S. M., Roberts, D., Smillie, J., Snow, K., Ward, M., & Yang, R. 2019. CSIRO-ARCCSS ACCESS-CM2 model output prepared for CMIP6 CMIP historical. Version 2023-09-2. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4271>
- EC-Earth Consortium (EC-Earth). 2019. EC-Earth-Consortium EC-Earth3-Veg model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.727>



Programa de educación ambiental en El Cuale, México (Maribel Arenas Navarro)

FIA DataMart, USDA Forest Service. 2023. Forest Inventory and Analysis database. USDA Forest Service, Northern Research Station. Disponible en <https://doi.org/10.2737/RDS-2001-FIADB>. Visitado en julio del 2023.

Figueroa, F., & Sánchez-Cordero, V. 2008. Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity Conservation* 17: 3223–3240.

Fick, S. E. & Hijmans, R. J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

García-Hernández, M. A., Toledo-Aceves, T., López-Barrera, F., Sosa, V. J., & Paz, H. 2019. Effects of environmental filters on early establishment of cloud forest trees along elevation gradients: Implications for assisted migration. *Forest ecology and management* 432: 427–435.

GBIF.org. 2023. GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.hj79d7>. Downloaded via the R package 'rgbif'. Accessed January 2023.

Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* 33(8): <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>.

Gómez-Mendoza, L., & Arriaga, L. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology* 21(6):1545–1555. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00814.x>

González-Espinosa, M., Meave, J. A., Lorea-Hernández, F. G., Ibarra-Manríquez, G. & Newton, A. C. (Eds) 2011. *The Red List of Mexican Cloud Forest Trees*. Fauna and Flora International, Cambridge, UK.

Graul, C. 2016. LeafletR: Interactive Web-Maps Based on the Leaflet JavaScript Library. R package version 0.4-0.

Hausfather, Z. 2019. CMIP6: the next generation of climate models explained. CarbonBrief. Disponible en <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/>. Visitado en febrero del 2024.

Hipp, A. L., Manos, P. S., González-Rodríguez, A., Hahn, M., Kaproth, M., McVay, J. D., Valencia-A., S., & Cavender-Bares, J. 2018. Sympatric parallel diversification of major oak clades in the Americas and the origins of Mexican species diversity. *New Phytologist* 217(1): 439–452. <https://doi.org/10.1111/nph.14773>

Hoban, S. 2019. New guidance for ex situ gene conservation: Sampling realistic population systems and accounting for collection attrition. *Biological Conservation* 235: 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.013>

Hoban, S., Kallow, S., & Trivedi, C. 2018. Implementing a new approach to effective conservation of genetic diversity, with ash (*Fraxinus excelsior*) in the UK as a case study. *Biological Conservation* 225:10–21. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.017>

Hoban, S., Archer, F. I., Bertola, L. D., Bragg, J. G., Breed, M. F., Bruford, M. W., Coleman, M. A., Ekblom, R., Funk, W. C., Grueber, C. E., Hand, B. K., Jaffé, R., Jensen, E., Johnson, J. S., Kershaw, F., Liggins, L., MacDonald, A. J., Mergeay, J., Miller, J. M., Muller-Karger, F., O'Brien, D., Paz-Vinas, I., Potter, K. M., Razgour, O., Vernesi, C., & Hunter, M. E. 2022. Global genetic diversity status and trends: towards a suite of Essential Biodiversity Variables (EBVs) for genetic composition. *Biological Reviews* 97(4): 1511–1538. <https://doi.org/10.1111/brv.12852>

Hoban, S., Beckman Bruns, E., Griffith, M. P., Hahn, M., Hipp, A., Lobdell, M., Meyer, A., Rollinson, C., Worcester, L., & Westwood, M. 2023. *Integrated Collections Development: Quantifying value of garden collections for decision making and prioritization*. Botanic Gardens Conservation International-U.S. Disponible en <https://www.bgci.org/news-events/new-integrated-collections-development-report-led-by-the-morton-arboretum/>. Visitado en abril del 2024.

Holdridge, L. R. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center: San José, Costa Rica.

Hu, X., Huang, B., Verones, F., Cavalett, O., & Cherubini, F. 2020. Overview of recent land-cover changes in biodiversity hotspots. *Frontiers in Ecology and the Environment* 19(2): 91–97. <https://doi.org/10.1002/fee.2276>

iDigbio. 2022. Occurrence download. Downloaded via the R package 'ridigbio'. Visitado en enero del 2023.

Imbach, P., Chan Chou, S., Lyra, A., Rodrigues, D., Rodriguez, D., Latinovic, D., Siqueira, G., Silva, A., Garofolo, L., & Georgiou, S. 2018. Future climate change scenarios in Central America at high spatial resolution. *PLoS ONE* 13(4): e0193570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193570>

IUCN. 2016. *A Global Standard for the Identification of Key Biodiversity Areas, Version 1.0*. Gland, Switzerland: IUCN. Disponible en <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-048.pdf>. Visitado en enero del 2023.

- IUCN. 2023.** The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1. Disponible en <https://www.iucnredlist.org>. Visitado en enero del 2023.
- Jerome, D. 2018a.** *Quercus acherdophylla*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T89174970A89174976. Disponible en <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T89174970A89174976.en>. Visitado en marzo del 2024.
- Jerome, D. 2018b.** *Quercus insignis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T194177A2302931. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-1.RLTS.T194177A2302931.en>.
- KBA. 2023.** KBA Data. Disponible en <https://www.keybiodiversityareas.org/kba-data>. Visitado en marzo del 2024.
- Khatun, K., Imbach, P., & Zamora, J. 2013.** An assessment of climate change impacts on the tropical forests of Central America using the Holdridge Life Zone (HLZ) land classification system. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 6(4): 183–189. <https://doi.org/10.3832/ifer0743-006>
- Khoury, C. K., Amariles, D., Soto, J. S., Diaz, M. V., Sotelo, S., Sosa, C. C., Ramírez-Villegas, J., Achicanoy, H. A., Velásquez-Tibatá, J., Guarino, L., León, B., Navarro-Racines, C., Castañeda-Álvarez, N. P., Dempewolf, H., Wiersma, J. H., & Jarvis, A. 2019.** Comprehensiveness of conservation of useful wild plants: an operational indicator for biodiversity and sustainable development targets. *Ecological Indicators* 98: 420–429. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.016>
- Khoury, C. K., Carver, D., Greene, S. L., & Frances, A. 2020.** Crop wild relatives of the United States require urgent conservation action. *PNAS* 117(52): 33351–33357. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007029117>
- Le Berre, M., Noble, V., Pires, M., Médail, F., & Diadema, K. 2019.** How to hierarchise species to determine priorities for conservation action? A critical analysis. *Biodiversity and Conservation* 28: 3051–3071. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01820-w>
- Linsky, J., Crowley, D., Beckman Bruns, E. & Coffey, E. E. D. 2022a.** *Global Conservation Gap Analysis of Magnolia*. Atlanta, GA: Atlanta Botanical Garden.
- Linsky, J., Bellemare, J., Berryhill, J., Conrad, K., Lobdell, M., Moon, B., de la Mota Daniel, F.J., Rahaim, K., Rounsaville, T., Sanders, A., West, T., Zale, P.J., Meyer, A., Beckman Bruns, E., & Coffey, E. E. D. 2022b.** *Conservation Gap Analysis of Native Magnolias of the U.S. and Canada*. Atlanta, GA: Atlanta Botanical Garden
- Mace, G. M., Possingham, H. P., & Leader-Williams, N. 2006.** Prioritizing Choices in Conservation. In D. MacDonald and K. Service (Eds.) *Key Topics in Conservation Biology* (pp 17–34). Blackwell Publishing Ltd.
- Maitner, B. 2022.** *_BIEN: Tools for Accessing the Botanical Information and Ecology Network Database_*. R package version 1.2.5, <https://CRAN.R-project.org/package=BIEN>.
- Massicotte, P. & South, A. 2023.** *rnatuarearth: World Map Data from Natural Earth*. R package version 0.3.3, <https://CRAN.R-project.org/package=rnatuarearth>.
- McCauley, R. A., Cortés-Palomec, A. C. & Oyama, K. 2019.** Species diversification in a lineage of Mexican red oak (*Quercus* section *Lobatae* subsection *Racemiflorae*)—the interplay between distance, habitat, and hybridization. *Tree Genetics & Genomes* 15(27). <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1333-x>
- Meyad, C., Henkrar, F., Bouhaddou, N., & Khabar, L. 2023.** Micropropagation of *Quercus* spp., complications and solutions—an overview. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 59(4): 446–460. <https://doi.org/10.1007/s11627-023-10354-4>
- Michonneau, F., & Collins, M. 2022.** *_ridigbio: Interface to the iDigBio Data APL_*. R package version 0.3.6, <https://CRAN.R-project.org/package=ridigbio>.
- Missanjo, E., Utila, H., Munthali, M., & Mitembe, W. 2019.** Modelling of climate conditions in forest vegetation zones in Malawi. *World Journal of Advanced Research and Reviews* 1(03): 036–044. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2019.1.3.0023>
- Morales-Saldaña, S., Valencia-Ávalos, S., Oyama, K., Tovar-Sánchez, E., Hipp, A. L., & González-Rodríguez, A. 2022.** Even more oak species in Mexico? Genetic structure and morphological differentiation support the presence of at least two specific entities within *Quercus laeta*. *Journal of Systematics and Evolution* 60(5): 1124–1139.
- Morrone, J. J., Escalante, T., & Rodríguez-Tapia, G. 2017.** Mexican biogeographic provinces: Map and Shapefiles. *Zootaxa* 4277(2): 277–279. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Morton Arboretum. 2023.** Plan de Acción, Conservación y Manejo para el Encino Arroyero (*Quercus brandegeei*) en la Región del Cabo, Baja California Sur, México. La Paz, Baja California Sur, México.
- Naranjo Bravo, L. M. 2021.** Genética de la conservación y nicho ecológico del encino *Quercus insignis* (Fagaceae) en México [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. Repositorio Institucional de la UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3562174>.
- NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS). 2018.** NASA-GISS GISS-E2.1G model output prepared for CMIP6 CMIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1400>
- Oldfield, S. & Eastwood, A. 2007.** *The Red List of Oaks*. Flora and Fauna International. Cambridge, UK.
- Peano, D., Lovato, T., & Materia, S. 2020.** CMCC CMCC-ESM2 model output prepared for CMIP6 LS3MIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.13165>
- Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V.-H., Watson, J. E. M., VanDerWal, J., Fuller, R. A., Pressey, R. L., & Possingham, H. P. 2012.** Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climate Change* 2: 448–452. <https://doi.org/10.1038/nclimate1453>

- Potter, K. M., Jetton, R. M., Bower, A., Jacobs, D. F., Man, G., Hipkins, V. D., & Westwood, M. 2017. Banking on the future: progress, challenges and opportunities for the genetic conservation of forest trees. *New Forests* 48: 153–180. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9582-8>
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en <https://www.R-project.org/>. Visitado en septiembre del 2022.
- Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Sáenz-Romero, C., & Campbell, E. M. 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications* 22(1): 119–141. <https://doi.org/10.1890/11-0495.1>
- Rodrigues, A. S. L., Akçakaya, H. R., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Chanson, J. S., Fishpool, L. D. C., Da Fonseca, G. A. B., Gaston, K. J., Hoffmann, M., Marquet, P. A., Pilgrim, J. D., Pressey, R. L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S. N., Underhill, L. G., Waller, R. W., Watts, M. E. J., & Yan, X. 2004. Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience* 54(12): 1092–1100. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[1092:GGAPRF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[1092:GGAPRF]2.0.CO;2)
- Rodríguez-Correa, H., Oyama, K., Quesada, M., Fuchs, E.J., Quezada, M., Ferrufino, L., Valencia-Ávalos, S., Cascante-Marín, A. & González-Rodríguez, A. 2017. Complex phylogeographic patterns indicate Central American origin of two widespread Mesoamerican *Quercus* (Fagaceae) species. *Tree Genetics & Genomes* 13: 62 <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1147-7>
- Sáenz-Romero, C., Mendoza-Maya, E., Gómez-Pineda, E., Blanco-García, A., Endara-Agramont, A. R., Lindig-Cisneros, R., López-Upton, J., Trejo-Ramírez, O., Wehenkel, C., Cibrián-Tovar, D., Flores-López, C., Plascencia-González, A., & Vargas-Hernández, J. J. 2020. Recent evidence of Mexican temperate forest decline and the need for ex situ conservation, assisted migration, and translocation of species ensembles as adaptive management to face projected climatic change impacts in a megadiverse country. *Canadian Journal of Forest Research* 50(9): 843–854. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0329>
- Salinas-Rodríguez, M. M., Sajama, M. J., Gutiérrez-Ortega, J. S., Ortega-Baes, P., & Estrada-Castillón, A. E. 2018. Identification of endemic vascular plant species hotspots and the effectiveness of the protected areas for their conservation in Sierra Madre Oriental, Mexico. *Journal for Nature Conservation* 46: 6–27. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.08.012>
- Santini, N. S., Cuervo-Robayo, A. P., & Fernanda Adame, M. 2023. Agricultural soil degradation in Mexico. In P. Pereira, M. Muñoz-Rojas, I. Bogunovic, and W. Zhao (Eds.) *Impact of Agriculture on Soil Degradation I: Perspectives from Africa, Asia, America and Oceania* (pp 301 - 323). Springer Nature, Switzerland.
- Shiogama, H., Abe, M., & Tatebe, H. 2019. MIROC MIROC6 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.898>
- South, A. 2017. *rnatuarearthdata*: World Vector Map Data from Natural Earth Used in 'rnatuarearth'. R package version 0.1.0, <https://CRAN.R-project.org/package=rnatuarearthdata>.
- South, A., Michael, S., & Massicotte, P. 2023. *rnatuarearthhires*: High Resolution World Vector Map Data from Natural Earth used in *rnatuarearth* <https://docs.ropensci.org/rnatuarearthhires>, <https://github.com/ropensci/rnatuarearthhires>.
- Suzart de Albuquerque, F., Benito, B., Beier, P., Assunção-Albuquerque, M. J., & Cayuela, L. 2015. Supporting underrepresented forests in Mesoamerica. *Natureza & Conservação* 13(2): 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.02.001>
- Tainter, F. H., O'Brien, J. G., Hernández, A., Orozco, F., & Rebolledo, O. 2000. *Phytophthora cinnamomi* as a Cause of Oak Mortality in the State of Colima, Mexico. *Plant Disease* 84(4): 394–398. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.394>
- Tang, Y., Rumbold, S., Ellis, R., Kelley, D., Mulcahy, J., Sellar, A., Walton, J., & Jones, C. 2019. MOHC UKESM1.0-LL model output prepared for CMIP6 CMIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1569>
- Tellez, O., Mattana, E., Diazgranados, M., Kühn, N., Castillo-Lorenzo, E., Lira, R., Montes-Leyva, L., Rodriguez, I., Flores Ortiz, C. M., Way, M., Dávila, P., & Ulián, T. 2020. Native trees of Mexico: diversity, distribution, uses and conservation. *PeerJ*: e9898. <https://doi.org/10.7717/peerj.9898>
- The Convention on Wetlands. 2023. Countries. Disponible en <https://www.ramsar.org/countries>. Visitado en diciembre del 2023.
- Toledo-Aceves, T., López-Barrera, F., Vásquez-Reyes, V., & Günter, S. 2022. Restoration of tropical montane cloud forest in bracken dominated pastures: The role of nurse shrubs. *Forest Ecology and Management* 508: 120055.
- Toledo-Aceves, T., Sáenz-Romero, C., Cruzado-Vargas, A. L., & Vásquez-Reyes, V. 2023. *Quercus insignis* seedling response to climatic transfer distance in the face of climate change. *Forest Ecology and Management* 533: 120855. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120855>
- Toledo-Aceves, T. & del-Val, E. 2021. Do plant-herbivore interactions persist in assisted migration plantings? *Restoration Ecology* 29(3): e13318. <https://doi.org/10.1111/rec.13318>
- Trejo, I. & Cuervo, A. 2016. Cartographic model for the life zone system according to Holdridge (1971). GitHub Repository. Disponible en <https://github.com/AngelaCrow/Zonas-de-vida-Futuro/blob/master/zonasdevida.R>. Visitado en septiembre del 2023.
- UNEP-WCMC & IUCN. 2023. Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA) [Online], October 2023, Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. Available at www.protectedplanet.net.
- USFWS. 2023. Five species on San Clemente Island declared fully recovered. Disponible en <https://www.navy.mil/Press-Office/News-Stories/Article/3275895/five-species-on-san-clemente-island-declared-fully-recovered/>. Visitado en enero del 2024.
- Valencia-A., S. 2010. Notes on the Genus *Quercus* in Mexico. *International Oaks* 21: 100–120.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559-902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>





Quercus insignis habita en el “cinturón cafetalero”, un hábitat que se ha convertido en su mayor parte a la agricultura y la ganadería (The Morton Arboretum)

Villers-Ruiz, L., & Trejo-Vázquez, I. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research* 9: 87–93. <https://doi.org/10.3354/cr009087>

Visconti, P., Butchart, S. H., Brooks, T. M., Langhammer, P. F., Marnewick, D., Vergara, S., Yanosky, A., & Watson, J. E. 2019. Protected area targets post-2020. *Science* 364(6437): 239–241. DOI: 10.1126/science.aav6886

Volodin, E., Mortikov, E., Gritsun, A., Lykossov, V., Galin, V., Diansky, N., Gusev, A., Kostykin, S., Iakovlev, N., Shestakova, A., & Emelina, S. 2019. INM INM-CM5-0 model output prepared for CMIP6 CMIP piControl. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.5081>

von Storch, J-S, Putrasahan, D., Lohmann, K., Gutjahr, O., Jungclaus, J., Bittner, M., Haak, H., Wieners, K-H, Giorgetta, M., Reick, C. Esch, M., Gayler, V., de Vrese, P., Raddatz, T., Mauritsen, T., Behrens, J., Brovkin, V., Claussen, M., Crueger, T., Fast, I., Fiedler, S., Hagemann, S., Hohenegger, C., Jahns, T., Kloster, S., Kinne, S., Lasslop, G., Kornblueh, L., Marotzke, J., Matei, D., Meraner, K., Mikolajewicz, U., Modali, K., Müller, W., Nabel, J., Notz, D., Peters-von Gehlen, K., Pincus, R., Pohlmann, H., Pongratz, J., Rast, S., Schmidt, H., Schnur, R., Schulzweida, U., Six, K., Stevens, B., Voigt, A., & Roeckner, E. 2017. MPI-M MPIESM1.2-HR model output prepared for CMIP6 HighResMIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation.

Wenzell, K., Kenny, L., Beckman, E. & Jerome, D. 2020. *Quercus cualensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T194105A2299318. Disponible en <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T194105A2299318.en>. Visitado en enero del 2024.

Westwood, M., Cavender, N., Meyer, A., & Smith, P. 2021. Botanic garden solutions to the plant extinction crisis. *Plants People Planet* 3(1): 22–32. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10134>

Wood, J., Ballou, J. D., Callicrate, T., Fant, J. B., Griffith, M. P., Kramer, A. T., Lacy, R. C., Meyer, A., Sullivan, S., Traylor-Holzer, K., Walsh, S. K., & Havens, K. 2020. Applying the zoo model to conservation of threatened exceptional plant species. *Conservation Biology* 34(6): 1416–1425. <https://doi.org/10.1111/cobi.13503>

WorldClim. 2022. Future climate, 30 seconds spatial resolution. Disponible en https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html. Visitado en febrero del 2024.

Yukimoto, S., Koshiro, T., Kawai, H., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., Hosaka, M., Yoshimura, H., Shindo, E., Mizuta, R., Ishii, M., Obata, A., & Adachi, Y. 2019. MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 CMIP. Version 2023-09-21. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.621>

Zeng, Y., Senior, R. A., Crawford, C. L., & Wilcove, D. S. 2023. Gaps and weaknesses in the global protected area network for safeguarding at-risk species. *Science Advances* 9(22): DOI: 10.1126/sciadv.adg0288

Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., Farooq, H., Herdean, A., Ariza, M., Scharn, R., Svanteson, S., Wengstrom, N., Zizka, V., & Antonelli, A. 2019. “CoordinateCleaner: standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases.” *Methods in Ecology and Evolution*, -7. doi:10.1111/2041-210X.13152, R package version 3.0.1, <https://github.com/ropensci/CoordinateCleaner>

APPENDICES

Hábitat de *Quercus hintoniorum* (Maricela Rodríguez-Acosta)

APÉNDICE A

Contribuyentes institucionales de datos de *Quercus* a los estudios de colecciones ex situ de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.

Adelaide Botanic Gardens | Adkins Arboretum | Aiken City Arboretum | Ambler Arboretum of Temple University | Arboreto de la Mota, Miraflores de la Sierra, Madrid, Spain | Arboretum at Penn State, The | Arboretum Chocha | Arboretum de la Bergerette | Arboretum des Pouyouleix | Arboretum du Passadou | Arboretum Leśnego Banku Genów Kostrzyca | Arboretum Mustila | Arboretum Robert Lenoir | Arboretum Wespelaar | Arboretum Zampach | Arboretum-Pinetum Lucus Augusti | Arizona-Sonora Desert Museum | Arnold Arboretum of Harvard University, The | Atlanta Botanical Garden | Auckland Botanic Gardens | Australian Botanic Garden, Mount Annan, The | Baker Arboretum | Bamboo Brook Outdoor Education Center | Bangladesh Agricultural University Botanic Garden | Barnea Oak Nursery | Bartlett Arboretum | Bartlett Tree Research Laboratories Arboretum | Barton Arboretum and Nature Reserve of Medford Leas | Batumi Botanical Garden | Bayard Cutting Arboretum | Bedgebury National Pinetum and Forest | Bellefontaine Cemetery and Arboretum | Bendigo Botanic Gardens | Bergen Botanical Garden | Bergius Botanic Garden | Bernheim Arboretum and Research Forest | Birmingham Botanical Gardens and Glasshouses | Blue Mountains Botanic Garden, Mount Tomah | Bok Tower Gardens | Bonn University Botanic Gardens | Boone County Arboretum | Borde Hill Garden | Botanic Garden Meise | Botanic Garden of Smith College, The | Botanic Garden, Delft University of Technology | Botanic Gardens of South Australia | Botanical Garden of Moscow Palace of Pioneers | Botanical Garden of the University of Bern | Botanischer Garten der Philipps-Universität Marburg | Botanischer Garten der Universität Osnabrück | Botanischer Garten der Universitaet Zürich | Botanischer Garten Frankfurt am Main | Botanischer Garten Oldenburg | Bowman's Hill Wildflower Preserve | Boyce Thompson Arboretum | Brenton Arboretum, The | Brookgreen Gardens | Brooklyn Botanic Garden | Buckingham Palace | Butte County (Butte Environmental Council) | California Botanic Garden | Cambridge University Botanic Garden | Carl von Ossietzky Universität | Cephalonia Botanica | Chateau Perouse | Chelsea Physic Garden | Chicago Botanic Garden | Chollipo Arboretum Foundation | Cincinnati Zoo & Botanical Garden | Cindy Newlander, PCN *Quercus* Multisite | Connecticut College Arboretum | Cornell Botanic Gardens | Cultivated Oaks of the World | Darts Hill Garden Park | Dawes Arboretum, The | Dayton VA Medical Center Gardens & Grotto | Delft University of Technology

Botanic Garden (Botanische Tuinen) | Dendrologická Zahrada | Denver Botanic Gardens | Denver Zoological Gardens | Descanso Gardens | Desert Botanical Garden | Donald E. Davis Arboretum | Dr. Cecilia Koo Botanic Conservation Center | Dunedin Botanical Garden | Eastwoodhill Arboretum | EcoJardín IIES-UNAM | Ed Shinn | Eden Project, The | Eddy Arboretum | El Colegio de la Frontera Sur - San Cristóbal de las Casas | Elmhurst College Arboretum | Estancia San Miguel | Evergreen Burial Park and Arboretum | Exbury Gardens | Fairchild Tropical Botanic Garden | Ferme d'Azy at Chassepierre Belgium | Fernwood Botanical Garden and Nature Preserve | Finnish Museum of Natural History / Helsinki University Botanic Garden / Kaisaniemi Botanic Garden, Kumpula Botanic Garden | Florida field genebank | For-Mar Nature Preserve & Arboretum | Forstbotanischer Garten Tharandt | Franklin Park Conservatory and Botanical Gardens | Frelinghuysen Arboretum, The | Gabis Arboretum at Purdue Northwest (Taltree Arboretum) | Ganna Walska Lotusland | Gardens of the Big Bend: Magnolia Garden | George G. Willis Jr. Arboretum at Furman University | Georgia Tech Arboretum | Giardino Botánico "Nuova Gussonea" Monte Etna |



Quercus hintoniorum (Maricela Rodríguez-Acosta)





Quercus ajoensis (John Wiens)

Gothenburg Botanical Garden | Gradina Agrobotanica din Cluj-Napoca | Green Bay Botanical Garden | Green Spring Gardens | Greenwood Cemetery | Grigdale Arboretum | GRIN National Plant Germplasm System | Grounds and Gardens University of Exeter, The | Hackfalls Arboretum | Harmas de Fabre | Hergest Croft Gardens | Hof ter Saksen Arboretum | Holden Arboretum, The | Holden Forest and Garden | Hollard Garden | Horsholm Arboretum | Hortus Botanicus Amsterdam | Houston Botanic Garden | Hoyt Arboretum | Huntington Botanical Gardens | Huntsville Botanical Garden | Jardín Botànic de Sóller | Jardín Botánico "Carlos Thays" | Jardín Botánico de Acapulco | Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (JBU-BUAP) | Jardín Botánico del Instituto de Biología (UNAM) | Jardín Botánico Francisco Javier | Jardín Botánico Iturraran | Jardín Botánico Louise Wardle de Camacho | Jardin Botanique Alpin de la Jaÿsinia | Jardin Botanique de l'Université de Strasbourg | Jardin Botanique de le Villa Thuret | Jardin botanique de Lyon | Jardin botanique de Paris | Jardin Botanique Exotique | JC Raulston Arboretum | Jean Louis Helardot | Jerusalem Botanical Gardens | Keith Arboretum, The Charles R. | Kruckeberg Botanic Garden | Lady Bird Johnson Wildflower Center | Landis Arboretum | Le Havre | Le Jardín Le Vasterival | Les chênes plantés à l'Arboretum de La Bergerette | Les Souffrettes | Lewis Ginter Botanical Garden | Lincoln Park Zoo | Linnaean Gardens of Uppsala (Uppsala University), The | Living Desert Zoo & Gardens State Park | Longwood Gardens | Los Angeles County Arboretum and Botanic Garden | Madison Park, Chicago | Madronia Cemetery and Arboretum | Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, Arboretum (Department of Dendrology) | Marie Selby Botanical Gardens | Masaryk University Faculty of Medicine Medicinal Herbs Centre | Maymont Foundation | Memorial University of Newfoundland Botanical Garden | Mercer Botanic Gardens | Michigan State University | Missouri Botanical Garden | MNHN: Arboretum de Chèvreloup | MNHN: Harmas de Fabre | MNHN: Jardin botanique alpin la Jaysinia | MNHN: Jardin botanique du Val Rahmeh | MNHN: Jardín des Plantes de Paris | Montgomery Botanical Center | Montreal Botanic Garden (Jardin botanique de Montreal) | Moore Farms Botanical Garden | Morris Arboretum of the University of Pennsylvania | Morris Arboretum, The | Morris County Park Commission | Morton Arboretum, The | Moscow State University Botanical Garden | Mount Auburn Cemetery | Mount Lofty Botanic Garden | Mt. Airy Arboretum | Mt. Cuba Center | Muséum National d'Histoire Naturelle | Nanjing Botanical Garden Memorial Sun Yat-Sen | Naples Botanical Garden | National Arboretum Canberra | National Botanic Garden of Georgia | National Museum "d'Histoire Naturelle"-Seed Bank | National Tropical Botanical Garden | New Plymouth Reserves/ Parklands | New York Botanical Garden | Niagara Parks Botanical Gardens | Nicholas Reis | Norfolk Botanical Garden | North Carolina Arboretum Society, The | North Carolina Botanic Garden | Ohio

DNR Park | Orto Botánico dell'Università degli studi di Siena | Orto Botánico dell'Università di Pavia | Paignton Zoo Environmental Park | Palomar College | Parque Ecológico y Estación Experimental la Soledad | Patterson Garden Arboretum | PCN Quercus Multisite (APGA) | Peckerwood Garden | Penrice Castle | Polly Hill Arboretum, The | Pukekura Park | Quarryhill Botanical Garden | Quercus Collection of Terry Hanlon | Rancho Santa Ana Botanic Garden | Real Jardín Botánico Juan Carlos I | Red Butte Garden and Arboretum | Regis University Arboretum | Riverwoods Arboretum | Rogów Arboretum of Warsaw University of Life Sciences | Royal Botanic Garden Edinburgh | Royal Botanic Garden Kew | Royal Botanic Gardens Sydney | Royal Botanic Gardens Victoria | Royal Botanical Gardens, Hamilton | Royal Botanical Gardens, Ontario | Royal Tasmanian Botanical Gardens | San Diego Botanic Garden | San Diego Zoo Safari Park | San Francisco Botanical Garden | San Luis Obispo Botanic Garden | Santa Barbara Botanic Garden | Sarah P. Duke Gardens | Scott Arboretum of Swarthmore College | Shaw Nature Reserve | Sheffield Botanical Gardens | Sir Harold Hillier Gardens, The | Sister Mary Grace Burns Arboretum of Georgian Court University | Smithsonian Gardens - Tree Collection | St. Andrews Botanic Garden | Starhill Forest Arboretum | State Botanical Garden of Georgia, University of Georgia | State Botanical Garden of Kentucky | Stavanger Botanic Garden | Stephen's Lake Park Arboretum | Stichting Belmonte Arboretum | Tallinn Botanic Garden | Taltree Arboretum | Tasmanian Arboretum Inc., The | Thenford House | Timaru Botanic Gardens | Trompenburg Gardens & Arboretum | Tulsa Botanic Garden | Tupare Garden | Tyler Arboretum | U.S. Botanic Garden | UC Davis Arboretum and Public Garden | United States National Arboretum | Universidad Zamorano | University of British Columbia Botanical Garden | University of California Botanic Garden | University of California Botanical Garden at Berkeley | University of California Davis Arboretum | University of Exeter Grounds | University of Guelph Arboretum | University of Oslo Botanical Garden | University of Turku - Botanic Garden | University of Washington Botanic Gardens | Uppsala Linnaean Gardens | US Capitol Grounds and Arboretum | USDA North Central Regional Plant Introduction Station | VanDusen Botanical Garden | Village of Riverside, Illinois | Von Gimborn Arboretum | W. J. Beal Botanical Garden and Campus Arboretum | Wellington Botanic Garden | Wesleyan College Arboretum | West Chester University Arboretum | West Laurel Hill Cemetery | Willowood Arboretum | Winona State University, The Landscape Arboretum at | Wynkcoombe Arboretum | Xishuangbanna Tropical Botanical Garden | Yorkshire Arboretum, The | Zoo and BG Plzeň



Quercus costaricensis (Francisco Garin)

APÉNDICE B

Metadatos de encuestas ex situ realizadas por The Morton Arboretum y BGCI.

Proyecto	Año de la encuesta	Datos solicitados	Instituciones contactadas
Conservation Gap Analysis of Native U.S. Oaks (Beckman et al., 2019)	2017	Nivel de género: Quercus	Instituciones objetivo basadas en aquellas que informan sobre encinos nativos de EE. UU. a BGCI PlantSearch, además de compartir a través de redes profesionales (ver Beckman et al., 2019 para más detalles)
Conservation Gap Analysis of U.S. Trees in Nine Priority Genera (Beckman et al., 2021)	2018	Nivel de género: Carya, Fagus, Gymnocladus, Juglans, Lindera, Persea, Pinus, Sassafras, Taxus	Instituciones objetivo basadas en aquellas que informan sobre las especies objetivo a BGCI PlantSearch, además de compartirlas a través de redes profesionales (ver Beckman et al., 2021 para más detalles)
Quantifying and Sustaining Conservation Value of Four Tree Collections (Beckman Bruns et al., 2023c; Hoban et al., 2023)	2019	Nivel de género: Acer, Magnolia, Malus, Quercus, Tilia, Ulmus	Instituciones objetivo basadas en aquellas que informan sobre especies objetivo a BGCI PlantSearch, además de que son compartidas a través de redes profesionales
Conservation Gap Analysis of Native U.S. Oaks (Beckman et al., 2019)	2020	Nivel de género: Quercus	Instituciones objetivo que informan sobre las 29 especies de interés para la conservación (como se destaca en la publicación del análisis de vacíos) a BGCI PlantSearch, más aquellas compartidas a través de redes profesionales (lista de correo de GCCO)
Conservation Gap Analysis of Native Mesoamerican Oaks (Good et al., 2024)	2021	Quercus Mesoamericanos	Instituciones objetivo que reportan robles nativos de México y Centroamérica a BGCI PlantSearch (que tienen su sede en México y Centroamérica), además de las compartidas a través de contactos de Maricela Rodríguez y Allen Coombes
Conservation Gap Analysis of Native U.S. Oaks (Beckman et al., 2019) & Conservation Gap Analysis of Native Mesoamerican Oaks (Good et al., 2024)	2022	Quercus Mesoamericanos	Instituciones objetivo que reportan las 29 especies de interés para la conservación como se destaca en la publicación del análisis de brechas, y las especies amenazadas y Datos Insuficientes nativas de México y Centroamérica a BGCI PlantSearch, además de las compartidas a través de redes profesionales (lista de correo de GCCO)



APÉNDICE C

Riqueza de especies objetivo a nivel estatal para cada país Mesoamericano.

BELICE		
Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Belize	0	
Cayo	1	<i>Q. insignis</i>
Corozal	0	
Orange Walk	0	
Stann Creek	0	
Toledo	1	<i>Q. insignis</i>



Bosque de encino en San Pablito Pahuatlán, Hidalgo, México (Maricela Rodríguez-Acosta)

COSTA RICA		
Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Alajuela	2	<i>Q. costaricensis</i> , <i>Q. insignis</i>
Cartago	3	<i>Q. costaricensis</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i>
Guanacaste	1	<i>Q. insignis</i>
Heredia	2	<i>Q. costaricensis</i> , <i>Q. insignis</i>
Limón	3	<i>Q. costaricensis</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. sarahmariae</i>
Puntarenas	4	<i>Q. costaricensis</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. sarahmariae</i>
San José	3	<i>Q. costaricensis</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i>

EL SALVADOR		
Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Ahuachapan	0	
Cabanas	0	
Chalatenango	2	<i>Q. insignis</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Cuscatlan	0	
La Libertad	0	
La Paz	1	<i>Q. vicentensis</i>
La Union	0	
Morazan	0	
San Miguel	1	<i>Q. vicentensis</i>
San Salvador	1	<i>Q. vicentensis</i>
San Vicente	1	<i>Q. vicentensis</i>
Santa Ana	1	<i>Q. vicentensis</i>
Sonsonate	0	
Usulután	0	



Bosque nublado convertido en pastizal en San Vito, Costa Rica (The Morton Arboretum)

GUATEMALA

Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Alta Verapaz	3	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i>
Baja Verapaz	5	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Chimaltenango	4	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. melissae</i> , <i>Q. paxtalensis</i>
Chiquimula	3	<i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. vicentensis</i>
El Progreso	4	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. vicentensis</i>
El Quiché	3	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Escuintla	0	
Guatemala	4	<i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. melissae</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Huehuetenango	5	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. melissae</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Izabal	0	
Jalapa	4	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. melissae</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Jutiapa	3	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i>
Petén	1	<i>Q. insignis</i>
Quetzaltenango	1	<i>Q. acutifolia</i>
Retalhuleu	0	
Sacatepéquez	3	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. vicentensis</i>
San Marcos	1	<i>Q. acutifolia</i>
Santa Rosa	2	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Sololá	0	
Suchitepéquez	0	
Totonicapán	2	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Zacapa	2	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i>

HONDURAS

Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Atlántida	0	
Choluteca	1	<i>Q. insignis</i>
Colón	0	
Comayagua	2	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. insignis</i>
Copan	0	
Cortes	0	
El Paraíso	1	<i>Q. insignis</i>
Francisco	4	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. gracilior</i> , <i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i>
Morazan	0	
Gracias a Dios	0	
Intibucá	0	
Islas de la Bahía	2	<i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i>
La Paz	0	
Lempira	2	<i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Ocatepeque	1	<i>Q. insignis</i>
Olancho	1	<i>Q. insignis</i>
Santa Bárbara	0	
Valle	1	<i>Q. insignis</i>
Yoro		



MÉXICO

Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Aguascalientes	0	
Baja California	4	<i>Q. cedrosensis</i> , <i>Q. dumosa</i> , <i>Q. engelmannii</i> , <i>Q. tomentella</i>
Baja California Sur	3	<i>Q. ajoensis</i> , <i>Q. brandegeei</i> , <i>Q. devia</i>
Campeche	0	
Chiapas	8	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. breedloveana</i> , <i>Q. ghiesbreghtii</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. melissae</i> , <i>Q. mulleri</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. vicentensis</i>
Chihuahua	5	<i>Q. aerea</i> , <i>Q. barrancana</i> , <i>Q. deliquescens</i> , <i>Q. perpallida</i> , <i>Q. toumeyii</i>
Coahuila	5	<i>Q. carmenensis</i> , <i>Q. coahuilensis</i> , <i>Q. cupreata</i> , <i>Q. galeanensis</i> , <i>Q. hintoniorum</i>
Colima	2	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. nixoniana</i>
Durango	3	<i>Q. aerea</i> , <i>Q. radiata</i> , <i>Q. undata</i>
Guanajuato	0	
Guerrero	7	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. breedloveana</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. hintonii</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. nixoniana</i> , <i>Q. rubramenta</i>
Hidalgo	10	<i>Q. acherdophylla</i> , <i>Q. delgadoana</i> , <i>Q. diversifolia</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. hirtifolia</i> , <i>Q. meavei</i> , <i>Q. opaca</i> , <i>Q. tinkhamii</i> , <i>Q. toxicodendrifolia</i> , <i>Q. trinitatis</i>
Jalisco	10	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. centenaria</i> , <i>Q. coffeicolor</i> , <i>Q. cualensis</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. mexiae</i> , <i>Q. nixoniana</i> , <i>Q. radiata</i> , <i>Q. tuitensis</i>
México	4	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. diversifolia</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. hintonii</i>
Mexico City	1	<i>Q. diversifolia</i>
Michoacán	2	<i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. grahamii</i>
Morelos	1	<i>Q. diversifolia</i>
Nayarit	4	<i>Q. centenaria</i> , <i>Q. coffeicolor</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. radiata</i>
Nuevo León	12	<i>Q. cupreata</i> , <i>Q. flocculenta</i> , <i>Q. galeanensis</i> , <i>Q. graciliformis</i> , <i>Q. hintoniorum</i> , <i>Q. miquihuanensis</i> , <i>Q. opaca</i> , <i>Q. porphyrogenita</i> , <i>Q. runcinatifolia</i> , <i>Q. supranitida</i> , <i>Q. tinkhamii</i> , <i>Q. verde</i>
Oaxaca	10	<i>Q. acherdophylla</i> , <i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. macdougallii</i> , <i>Q. mulleri</i> , <i>Q. nixoniana</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. rekonis</i> , <i>Q. rubramenta</i>
Puebla	12	<i>Q. acherdophylla</i> , <i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. delgadoana</i> , <i>Q. diversifolia</i> , <i>Q. ghiesbreghtii</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. hirtifolia</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. meavei</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. toxicodendrifolia</i> , <i>Q. trinitatis</i>
Querétaro	2	<i>Q. diversifolia</i> , <i>Q. tinkhamii</i>
Quintana Roo	0	
San Luis Potosí	4	<i>Q. galeanensis</i> , <i>Q. meavei</i> , <i>Q. opaca</i> , <i>Q. tinkhamii</i>
Sinaloa	2	<i>Q. coffeicolor</i> , <i>Q. perpallida</i>
Sonora	4	<i>Q. barrancana</i> , <i>Q. ignaciensis</i> , <i>Q. perpallida</i> , <i>Q. toumeyii</i>
Tabasco	0	
Tamaulipas	10	<i>Q. cupreata</i> , <i>Q. galeanensis</i> , <i>Q. hintoniorum</i> , <i>Q. miquihuanensis</i> , <i>Q. opaca</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. porphyrogenita</i> , <i>Q. runcinatifolia</i> , <i>Q. tinkhamii</i> , <i>Q. verde</i>
Tlaxcala	1	<i>Q. grahamii</i>
Veracruz	10	<i>Q. acherdophylla</i> , <i>Q. acutifolia</i> , <i>Q. delgadoana</i> , <i>Q. grahamii</i> , <i>Q. hirtifolia</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. meavei</i> , <i>Q. paxtalensis</i> , <i>Q. toxicodendrifolia</i> , <i>Q. trinitatis</i>
Yucatán	0	
Zacatecas	1	<i>Q. radiata</i>

NICARAGUA

Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Boaco	1	<i>Q. insignis</i>
Carazo	0	
Chinandega	0	
Chontales	0	
Estelí	1	<i>Q. insignis</i>
Granada	0	
Jinotega	1	<i>Q. insignis</i>
Leon	0	
Madriz	0	
Managua	0	
Masaya	0	
Matagalpa	1	<i>Q. insignis</i>
Nueva Segovia	1	<i>Q. insignis</i>
Rivas	0	
Río San Juan	0	
Región Autónoma de la Costa Caribe Norte	1	<i>Q. gracilior</i>
Región Autónoma de la Costa Caribe Sur	0	

PANAMÁ

Estado	Número de especies objetivo	Nombre de la especie
Bocas del Toro	1	<i>Q. costaricensis</i>
Chiriquí	3	<i>Q. gulielmi-treleasei</i> , <i>Q. insignis</i> , <i>Q. sarahmariae</i>
Coclé	1	<i>Q. gulielmi-treleasei</i>
Colón	0	
Darién	0	
Herrera	0	
Los Santos	0	
Panamá	1	<i>Q. gulielmi-treleasei</i>
Veraguas	0	



Bosque de encino en Pahuatlán (Maricela Rodríguez-Acosta)

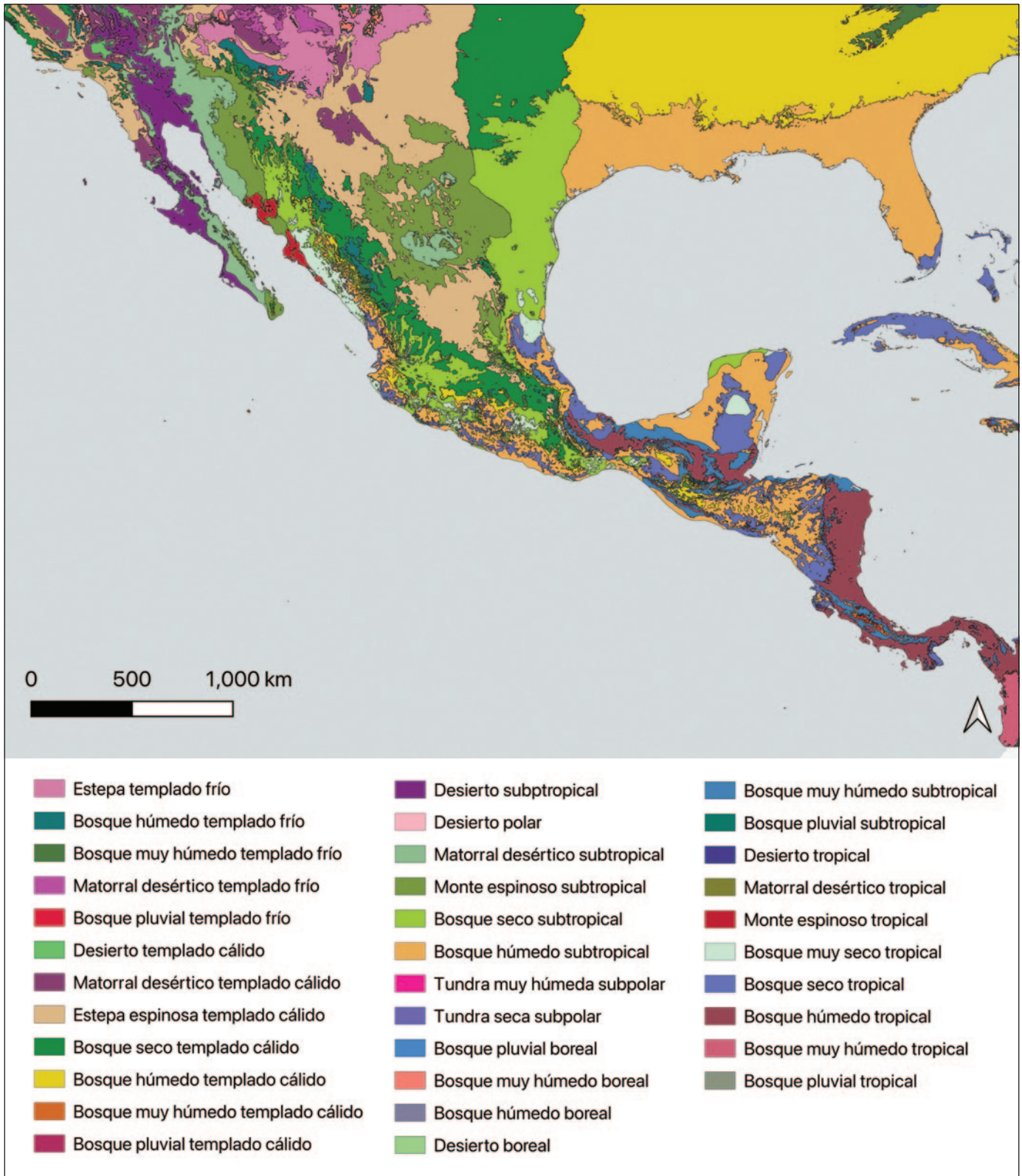


Quercus trinitatis (Francisco Garin)



APÉNDICE D

Mapa de las zonas de vida de Holdridge de Mesoamérica.



APÉNDICE E

Resultados de estudios de colecciones ex situ de especies objetivo de Mesoamérica.

Especies	Número de colecciones ex situ que reportan esta especie	Número de plantas en colecciones ex situ	Número de plantas marcadas como de origen silvestre	Número de plantas silvestres de localidad conocida
<i>Quercus acherdophylla</i>	19	36	19	16
<i>Quercus acutifolia</i>	34	91	34	17
<i>Quercus aerea</i>	0	0	0	0
<i>Quercus ajoensis</i>	9	87	72	62
<i>Quercus barrancana</i>	1	1	1	1
<i>Quercus brandegeei</i>	10	49	32	13
<i>Quercus breedloveana</i>	0	0	0	0
<i>Quercus carmenensis</i>	4	6	4	2
<i>Quercus cedrosensis</i>	2	6	6	6
<i>Quercus centenaria</i>	0	0	0	0
<i>Quercus coahuilensis</i>	0	0	0	0
<i>Quercus coffeicolor</i>	1	3	0	0
<i>Quercus costaricensis</i>	3	9	8	5
<i>Quercus cualensis</i>	1	4	4	4
<i>Quercus cupreata</i>	6	19	18	18
<i>Quercus delgadoana</i>	11	20	4	4
<i>Quercus deliquescens</i>	6	39	38	38
<i>Quercus devia</i>	0	0	0	0
<i>Quercus diversifolia</i>	4	7	5	0
<i>Quercus dumosa</i>	23	359	299	297
<i>Quercus engelmannii</i>	32	2604	225	160
<i>Quercus flocculenta</i>	3	7	5	5
<i>Quercus galeanensis</i>	9	20	4	3
<i>Quercus ghiesbreghtii</i>	0	0	0	0
<i>Quercus graciliformis</i>	24	189	74	18
<i>Quercus gracilior</i>	0	0	0	0
<i>Quercus grahamii</i>	7	25	7	2
<i>Quercus gulielmi-treleasei</i>	4	4	3	3
<i>Quercus hintonii</i>	3	4	1	1
<i>Quercus hintoniorum</i>	10	21	12	10
<i>Quercus hirtifolia</i>	10	21	14	12
<i>Quercus ignaciensis</i>	0	0	0	0
<i>Quercus insignis</i>	24	65	36	30
<i>Quercus macdougallii</i>	1	1	0	0
<i>Quercus meavei</i>	3	6	2	2
<i>Quercus melissae</i>	0	0	0	0
<i>Quercus mexiae</i>	0	0	0	0
<i>Quercus miquihuanensis</i>	16	26	9	0
<i>Quercus mulleri</i>	0	0	0	0
<i>Quercus nixoniana</i>	0	0	0	0
<i>Quercus opaca</i>	1	3	3	3
<i>Quercus paxtalensis</i>	0	0	0	0



Especies	Número de colecciones ex situ que reportan esta especie	Número de plantas en colecciones ex situ	Número de plantas marcadas como de origen silvestre	Número de plantas silvestres de localidad conocida
<i>Quercus perpallida</i>	0	0	0	0
<i>Quercus porphyrogenita</i>	4	5	5	3
<i>Quercus radiata</i>	0	0	0	0
<i>Quercus rekonis</i>	0	0	0	0
<i>Quercus rubramenta</i>	0	0	0	0
<i>Quercus runcinatifolia</i>	1	1	0	0
<i>Quercus sarahmariae</i>	0	0	0	0
<i>Quercus supranitida</i>	0	0	0	0
<i>Quercus tinkhamii</i>	1	1	1	1
<i>Quercus tomentella</i>	28	99	28	13
<i>Quercus toumeyi</i>	8	22	10	7
<i>Quercus toxicodendrifolia</i>	2	2	2	2
<i>Quercus trinitatis</i>	1	4	4	0
<i>Quercus tuitensis</i>	0	0	0	0
<i>Quercus undata</i>	0	0	0	0
<i>Quercus verde</i>	0	0	0	0
<i>Quercus vicentensis</i>	3	9	9	5



Quercus peduncularis en El Salvador (Roderick Cameron)

APÉNDICE F

En esta sección, se incluye la zona de vida de Holdridge en la que se encuentra cada arboreto y jardín botánico de Mesoamérica (según lo informado a BGCI GardenSearch en noviembre de 2023), así como una lista de especies de encinos objetivo que se encuentran dentro de esa zona de vida. Los nombres de las especies resaltadas en rojo son aquellas donde ocurre el mayor número de puntos de ocurrencia dentro de la zona de vida. Nota: no se ha realizado un análisis completo que identifique los jardines botánicos y arboreta en GardenSearch que cuentan con las instalaciones necesarias para establecer encinos en colecciones vivas. Sin embargo, se estima que aproximadamente el 60% de los jardines enumerados a continuación tienen el potencial de agregar encinos a sus colecciones y participar en actividades de conservación (Maricela Rodríguez-Acosta y Allen Coombes, comunicación personal, 2024).

DESIERTO SUBTROPICAL
Jardines botánicos y arboreta
<ul style="list-style-type: none"> ● Jardín Botánico 'Ing. Gustavo Aguirre Benavides' (México) ● Jardín Botánico ISIMA-UJED (México) ● Jardín Botánico 'Jerzy Rzedowski Rotter' (México)
Especies
<p>Q. cedrosensis Q. tomentella</p>



Quercus brandegeei (The Morton Arboretum)



Corredor ribereño de Quercus agrifolia (Jésus Serrano)

BOSQUE SECO SUBTROPICAL

Jardines botánicos y arboreta

- El Jardín de Piedras (México)
- Jardín AgroBotánico del Centro Regional Universitario Península de Yucatán (México)
- Jardín Botánico de Culiacán (México), Jardín Botánico de la Universidad Autónoma de Guerrero (México)
- Jardín Botánico Didáctico Instituto de Botánica CUCBA (México)
- Jardín Botánico Dra. Luz María Villarreal de Puga (México)
- Jardín Botánico 'Jorge Víctor Eller T.' (México)
- Jardín Botánico Regional Cassiano Conzatti (México)
- Jardín Botánico Regional 'Roger Orellana' (México)
- Jardín Botánico Tropical Comala, A.C. (México)
- Jardín Etnobotánico de Oaxaca (México)
- Orquidario de Morelia (México)
- Pabellón de las Orquídeas Ye'Tsil (México)
- Escuela Agrícola Panamericana (Honduras)
- Zamorano Botanical Garden (Honduras)

Especies

- | | |
|------------------|-------------------|
| Q. barrancana | Q. insignis |
| Q. brandegeei | Q. miquihuanensis |
| Q. coahuilensis | Q. nixoniana |
| Q. coffeicolor | Q. opaca |
| Q. cupreata | Q. paxtalensis |
| Q. devia | Q. perpallida |
| Q. diversifolia | Q. porphyrogenita |
| Q. engelmannii | Q. radiata |
| Q. flocculenta | Q. rubramenta |
| Q. galeanensis | Q. runcinatifolia |
| Q. graciliformis | Q. tinkhamii |
| Q. grahamii | Q. toumeyii |
| Q. hintoniorum | Q. trinitatis |

BOSQUE HÚMEDO SUBTROPICAL

Jardines botánicos y arboreta

- Arboretum de la Universidad Autónoma de Campeche (México)
- Jardín Botánico de Acalpulco 'Esther Pliego de Salinas' (México)
- Jardín Botánico de Hampolol (México)
- Jardín Botánico de La Facultad de Ciencias Agronómicas, UNACH (México)
- Jardín Botánico 'Dr. Alfredo Barrera Marín' de ECOSUR (México)
- Jardín Botánico Dr. Faustino Miranda (México)
- Jardín Botánico Estatal 'Toka, Naturaleza y Cultura' (México)
- Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero (México)
- Jardín Botánico Haravéri (México)
- Jardín Botánico Hernando Ruiz de Alarcón (México)
- Jardín Botánico Puerto Escondido (México)
- Jardín Botánico Regional Carmen de la Unacar (México)
- Jardín Etnobotánico y Museo de Medicina Tradicional y Herbolaria (México)
- Vallarta Botanical Gardens, A.C. (México)
- Jardín Botánico CECON-USAC (Guatemala)
- Jardín Botánico La Laguna (El Salvador)
- Fundación el árbol (Nicaragua)
- Jardín Botánico Ambiental (Nicaragua)
- Jardín Botánico Municipal Perez Estrada (Honduras)

Especies

<i>Q. acherdophylla</i>	<i>Q. mexiae</i>
<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. mulleri</i>
<i>Q. breedloveana</i>	<i>Q. nixoniana</i>
<i>Q. centenaria</i>	<i>Q. paxtalensis</i>
<i>Q. cualensis</i>	<i>Q. perpallida</i>
<i>Q. delgadoana</i>	<i>Q. radiata</i>
<i>Q. gracilior</i>	<i>Q. rekonis</i>
<i>Q. grahamii</i>	<i>Q. rubramenta</i>
<i>Q. gulielmi-treleasei</i>	<i>Q. toxicodendrifolia</i>
<i>Q. hintonii</i>	<i>Q. trinitatis</i>
<i>Q. insignis</i>	<i>Q. tuitensis</i>
<i>Q. meavei</i>	<i>Q. vicentensis</i>
<i>Q. melissae</i>	

MONTE ESPINOSO SUBTROPICAL

Jardines botánicos y arboreta

- EcoParque COLEF (México)
- Jardín Botánico Universidad Autónoma de Baja California (México)
- Proyecto Jardín Botánico del Desierto Chihuahuense (México)

Especies

<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. engelmannii</i>
<i>Q. ajoensis</i>	<i>Q. graciliformis</i>
<i>Q. brandegeei</i>	<i>Q. ignaciensis</i>
<i>Q. cedrosensis</i>	<i>Q. miquihuanensis</i>
<i>Q. coahuilensis</i>	<i>Q. opaca</i>
<i>Q. deliquescens</i>	<i>Q. tinkhamii</i>
<i>Q. devia</i>	<i>Q. toumeyii</i>
<i>Q. dumosa</i>	

BOSQUE MUY HÚMEDO SUBTROPICAL

Jardines botánicos y arboreta

- Jardín Etnobiológico de las selvas del Soconusco (Mexico)
- Blue Harbor Tropical Arboretum (Honduras)
- Jardín Botánico Lancetilla (Honduras)
- Else Kientzler Botanical Garden (Costa Rica)
- Hotel Bougainvillea Botanical Garden (Costa Rica)
- Jardín Botánico José María Orozco (JBO) (Costa Rica)
- Jardín Botánico Lankester (Costa Rica)
- La Selva's Holdridge Arboretum (Costa Rica)
- The Green Ark Foundation (Costa Rica)
- Robert & Catherine Wilson Botanical Garden (Costa Rica)
- Crater Valley Gardens (Panama)
- Jardín Botánico Arco Luna (Panama)
- Rainforest Foundation (Panama)

Especies

<i>Q. acherdophylla</i>	<i>Q. meavei</i>
<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. mulleri</i>
<i>Q. costaricensis</i>	<i>Q. nixoniana</i>
<i>Q. delgadoana</i>	<i>Q. paxtalensis</i>
<i>Q. grahamii</i>	<i>Q. sarahmariae</i>
<i>Q. gulielmi-treleasei</i>	<i>Q. trinitatis</i>
<i>Q. hirtifolia</i>	<i>Q. vicentensis</i>
<i>Q. insignis</i>	

BOSQUE SECO TROPICAL

Jardines botánicos y arboreta

- Jardín Botánico y Arboreta de Alta Cima (México)
- Belize Botanic Gardens (Belice)
- Botanic and Zoological Garden (Belice)
- Twin Town Botanic Garden (Belice)
- Arboretum Anita Holmann (Nicaragua)
- Parque Municipal Summit (Panamá)

Especies

<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. nixoniana</i>
<i>Q. grahamii</i>	<i>Q. paxtalensis</i>
<i>Q. hintonii</i>	<i>Q. rubramenta</i>
<i>Q. insignis</i>	<i>Q. vicentensis</i>

BOSQUE HÚMEDO TROPICAL

Jardines botánicos y arboreta

- Arboretum del Bosque Seco Tropical (Costa Rica)
- Área de Conservación Guanacaste (Costa Rica)
- Flores y Follajes del Caribe S.A. (Costa Rica)
- Jardín EtnoBotánico Dominga (Costa Rica)
- Osa Conservation (Costa Rica)
- Federacion de Clubes de Jardinería de Panama (Panamá)
- Finca Los Monos Botanical Garden (Panamá)
- Universidad de Panamá, Herbario (PMA) (Panamá)

Especies

<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. gulielmi-treleasei</i>
<i>Q. gracilior</i>	<i>Q. vicentensis</i>

BOSQUE SECO TEMPLADO CÁLIDO

Jardines botánicos y arboreta

- Asociación Mexicana de Orquideología A.C. (México)
- EcoJardín Instituto Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (México)
- Jardín Botánico de Ciceana (México)
- Jardín Botánico de Fundación Xochitla (México)
- Jardín Botánico de las Plantas Medicinales 'Maximino Martinez' (México)
- Jardín Botánico del Instituto de Biología (UNAM) (México)
- Jardín Botánico El Charco del Ingenio (Mexico)
- Jardín Botánico Facultad de Ciencias Naturales UAQ (México)
- Jardín Botánico Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM (México)
- Jardín Botánico "Louise Wardle de Camacho" (México)
- Jardín Botánico 'Ollintepetl' (México)
- Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle (México)
- Jardín Botánico Tizatlán (México)
- Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (JBU-BUAP) (México)
- Jardín Botánico Xochiltlalyocan UAM-Xochimilco (México)
- Jardín EtnoBotánico Francisco Peláez R. A.C (México)
- Jardín EtnoBotánico Tzapoteca 'Dra Helia Bravo Hollis' (México)

Especies

<i>Q. acherdophylla</i>	<i>Q. grahamii</i>
<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. hintoniorum</i>
<i>Q. aerea</i>	<i>Q. hirtifolia</i>
<i>Q. barrancana</i>	<i>Q. meavei</i>
<i>Q. brandegeei</i>	<i>Q. miquihuanensis</i>
<i>Q. carmenensis</i>	<i>Q. opaca</i>
<i>Q. coahuilensis</i>	<i>Q. perpallida</i>
<i>Q. coffeicolor</i>	<i>Q. porphyrogenita</i>
<i>Q. cupreata</i>	<i>Q. radiata</i>
<i>Q. delgadoana</i>	<i>Q. runcinatifolia</i>
<i>Q. devia</i>	<i>Q. supranitida</i>
<i>Q. diversifolia</i>	<i>Q. tinkhamii</i>
<i>Q. dumosa</i>	<i>Q. toumeyi</i>
<i>Q. engelmannii</i>	<i>Q. toxicodendrifolia</i>
<i>Q. flocculenta</i>	<i>Q. trinitatis</i>
<i>Q. galeanensis</i>	<i>Q. undata</i>
<i>Q. graciliformis</i>	<i>Q. verde</i>



MATORRAL DESÉRTICO TEMPLADO CÁLIDO

Jardines botánicos y arboreta

- Jardín Botánico de San Quintín (México)

Especies

<i>Q. cedrosensis</i>	<i>Q. tomentella</i>
<i>Q. dumosa</i>	<i>Q. toumeyi</i>

BOSQUE HÚMEDO TEMPLADO CÁLIDO

Jardines botánicos y arboreta

- Museo de la Medicina Maya (México)
- Orquidario Moxquivil (México)

Especies

<i>Q. acherdophylla</i>	<i>Q. macdougallii</i>
<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. meavei</i>
<i>Q. barrancana</i>	<i>Q. melissae</i>
<i>Q. centenaria</i>	<i>Q. mexiae</i>
<i>Q. cualensis</i>	<i>Q. mulleri</i>
<i>Q. delgadoana</i>	<i>Q. nixoniana</i>
<i>Q. diversifolia</i>	<i>Q. paxtalensis</i>
<i>Q. ghiesbreghtii</i>	<i>Q. perpallida</i>
<i>Q. gracilior</i>	<i>Q. radiata</i>
<i>Q. grahamii</i>	<i>Q. rubramenta</i>
<i>Q. gulielmi-treleasei</i>	<i>Q. toxicodendrifolia</i>
<i>Q. hintonii</i>	<i>Q. trinitatis</i>
<i>Q. hirtifolia</i>	<i>Q. tuitensis</i>
<i>Q. insignis</i>	<i>Q. vicentensis</i>

BOSQUE MUY HÚMEDO TEMPLADO CÁLIDO

Jardines botánicos y arboreta

- Green Mountain Cloud Forest Gardens (Costa Rica)

Especies

<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. meavei</i>
<i>Q. costaricensis</i>	<i>Q. paxtalensis</i>
<i>Q. gulielmi-treleasei</i>	<i>Q. sarahmariae</i>
<i>Q. insignis</i>	<i>Q. toxicodendrifolia</i>
<i>Q. macdougallii</i>	<i>Q. vicentensis</i>

MONTE ESPINOSO TEMPLADO CÁLIDO

Jardines botánicos y arboreta

- Jardín Botánico El Izotal (México)
- Jardín Botánico Regional de Cadereyta 'Ing. Manuel González de Cosío' (México)
- Jardín Botánico 'Rey Nezahualcóyotl' (México)

Especies

<i>Q. acutifolia</i>	<i>Q. graciliformis</i>
<i>Q. carmenensis</i>	<i>Q. grahamii</i>
<i>Q. cedrosensis</i>	<i>Q. hintoniorum</i>
<i>Q. coahuilensis</i>	<i>Q. miquihuanensis</i>
<i>Q. cupreata</i>	<i>Q. opaca</i>
<i>Q. deliquescens</i>	<i>Q. tinkhamii</i>
<i>Q. dumosa</i>	<i>Q. tomentella</i>
<i>Q. engelmannii</i>	<i>Q. toumeyi</i>
<i>Q. flocculenta</i>	<i>Q. verde</i>
<i>Q. galeanensis</i>	



Quercus grisea en el ejido la Casita, Nuevo León, México (The Morton Arboretum)

APÉNDICE G

Se puede acceder a los perfiles de especies para cada una de las 32 especies amenazadas y 27 especies con Datos Insuficientes en el enlace que se proporciona en la siguiente tabla. También se proporcionan los números de página del informe completo.

Especies	URL	Páginas
<i>Quercus acutifolia</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-acutifolia-es	69-76
<i>Quercus ajoensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-ajoensis-es	77-84
<i>Quercus brandegeei</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-brandegeei-es	85-92
<i>Quercus carmenensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-carmenensis-es	93-100
<i>Quercus cedrosensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-cedrosensis-es	101-108
<i>Quercus costaricensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-costaricensis-es	109-116
<i>Quercus cualensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-cualensis-es	117-124
<i>Quercus cupreata</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-cupreata-es	125-132
<i>Quercus delgadoana</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-delgadoana-es	133-140
<i>Quercus devia</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-devia-es	141-148
<i>Quercus diversifolia</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-diversifolia-es	149-156
<i>Quercus dumosa</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-dumosa-es	157-164
<i>Quercus engelmannii</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-engelmannii-es	165-172
<i>Quercus flocculenta</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-flocculenta-es	173-180
<i>Quercus galeanensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-galeanensis-es	181-188
<i>Quercus graciliformis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-graciliformis-es	189-196
<i>Quercus gulielmi-treleasei</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-gulielmi-treleasei-es	197-204
<i>Quercus hintonii</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-hintonii-es	205-212
<i>Quercus hintoniolum</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-hintoniolum-es	213-220
<i>Quercus hirtifolia</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-hirtifolia-es	221-228
<i>Quercus insignis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-insignis-es	229-236
<i>Quercus macdougallii</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-macdougallii-es	237-244
<i>Quercus meavei</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-meavei-es	245-252
<i>Quercus miquihuanensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-miquihuanensis-es	253-260
<i>Quercus mulleri</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-mulleri-es	261-268
<i>Quercus nixoniana</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-nixoniana-es	269-276
<i>Quercus radiata</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-radiata-es	277-284
<i>Quercus rubramenta</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-rubramenta-es	285-292
<i>Quercus runcinatifolia</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-runcinatifolia-es	293-300
<i>Quercus tomentella</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-tomentella-es	301-308
<i>Quercus tuitensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-tuitensis-es	309-316
<i>Quercus vicentensis</i>	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-quercus-vicentensis-es	317-324
Datos Insuficientes	mortonarb.org/gap-analyses/mesoamerica/species-profile-data-deficient-es	325-384





Análisis de Vacíos de Conservación de Especies Nativas de

Encinos Mesoamericanos

Para más información por favor contacte:

The Morton Arboretum

4100 Illinois Route 53

Lisle, IL 60532

Teléfono: 630-968-0074

Fax: + 44 (0) 1223 461481

Correo electrónico: treeconservation@mortonarb.org

Sitio web: www.mortonarb.org