



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA
Y FORESTAL SUSTENTABLE**

TESIS DE MAESTRÍA

**DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y FUTURA DE LAS CONÍFERAS
DEL ESTADO DE HIDALGO**

Para obtener el grado de
Maestro en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

Ing. Rafael Canales Pérez

Director

Dr. Sergio Hernández León

Co-Directora

Dra. Edith Jiménez Muñoz

Tulancingo de Bravo, Hgo., México, mayo 2025.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA
Y FORESTAL SUSTENTABLE**

TESIS DE MAESTRÍA

**DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y FUTURA DE LAS CONÍFERAS
DEL ESTADO DE HIDALGO**

Para obtener el grado de
Maestro en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

Ing. Rafael Canales Pérez

Director: Dr. Sergio Hernández León

Co-Directora: Dra. Edith Jiménez Muñoz

Asesores:

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dr. Ramon Razo Zárate

Dr. Oscar Arce Cervantes

Tulancingo de Bravo, Hgo., México, mayo 2025.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

15

ICAP-MCTAFS/004/2025

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

PRESENTE

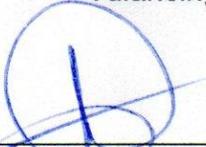
Por este conducto se le comunica que el Comité Revisor asignado al alumno **Rafael Canales Pérez**, de la Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable, con número de cuenta **No. 263669**, que presenta el manuscrito de tesis titulado "**Distribución potencial actual y futura de las coníferas del estado de Hidalgo**", ha autorizado la impresión del mismo.

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

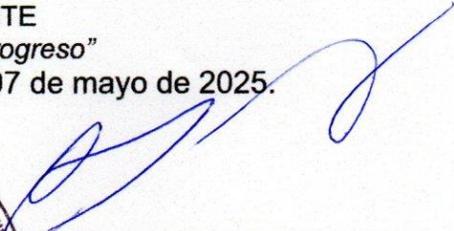
ATENTAMENTE

"Amor, Orden y Progreso"

Tulancingo de Bravo, Hgo. a 07 de mayo de 2025.


Dr. Sergio Hernández León
Coordinador de la Maestría en
Ciencias y Tecnología Agrícola y
Forestal Sustentable




Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2430
maestria_agricola_forestal@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Distribución potencial actual y futura de las coníferas del estado de Hidalgo.", que desarrolla el estudiante Rafael Canales Pérez.

Asistentes:

Dr. Sergio Hernández León

Dra. Edith Jiménez Muñoz

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dr. Ramon Razo Zárate

Dr. Oscar Arce Cervantes

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por Rafael Canales Pérez, comunicando al estudiante, realizó oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que El estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 07 de mayo de 2025.

Dr. Sergio Hernández León

Dra. Edith Jiménez Muñoz

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dr. Ramon Razo Zárate

Dr. Oscar Arce cervantes

Handwritten signatures of the committee members over horizontal lines.



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpi; Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600 Teléfono: 771 71 72000 ext 2430 maestria_agricola_forestal@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quiero agradecer al Dr. Sergio Hernández León, mi director de tesis, por haberme asesorado con la redacción de tesis durante todo el curso, además de haberme apoyado durante las salidas de campo y por haberme permitido trabajar en el laboratorio de Botánica Forestal.

A la Dra. Angela Patricia Cuervo Robayo por habernos proporcionado los scripts necesarios para la elaboración de los modelos de distribución potencial y su asesoría para la interpretación de los resultados.

A mis asesores de tesis por brindarme su valioso aporte en sugerencias para que la redacción y el contenido temático se logrará de la mejor manera posible.

A la Dra. Elena Rosales Islas por su asesoría en el programa R.

Al Dr. Alfonso Suarez Islas por sus sugerencias.

Al Ing. Tomas Escobedo Luna por proporcionarnos registros de campo de la especie *Pinus patula*.

A los estudiantes de Ing. Forestal por acompañarnos en la colecta de algunos ejemplares en campo.

A mi familia que siempre me alentó para continuar esforzándome y conseguir mis objetivos.

Al CONAHCyT por la beca otorgada para que pudiera desarrollar de manera satisfactoria este trabajo de investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por todas las facilidades otorgadas para que una vez más haya podido escalar satisfactoriamente otro peldaño en mi formación académica con este posgrado.

ÍNDICE

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
¿Qué son las coníferas?	15
Características morfológicas	15
Filogenia y evolución	16
Distribución y ecología de las coníferas	21
Problemática.....	22
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
HIPÓTESIS	24
JUSTIFICACIÓN	24
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	24
Capital natural	24
Biodiversidad	24
Pérdida de biodiversidad	25
Cambio climático	25
Distribución geográfica de especies.....	25
Nicho ecológico	26
Modelado de la distribución de especies.....	26
Diagrama BAM	26
Riqueza de especies.....	29
Antecedentes de investigaciones más relacionadas	29
METODOLOGÍA	30
Área de estudio.....	30
Trabajo de campo	30
Delimitación taxonómica y distribución natural de especies	31
Consulta en herbarios	31
Consulta de bases de datos electrónicas	31

Limpieza de datos	34
Calibración de los datos	34
Selección de variables ambientales	34
Área M	36
Pseudoausencias	36
Calibración de algoritmos	36
Mapas de distribución potencial y escenarios de cambio climático	36
Mapa de riqueza de especies	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
Trabajo de campo	37
Calibración de datos	37
Selección de variables ambientales	38
Mapas de distribución potencial y escenarios de cambio climático	63
<i>Abies guatemalensis</i>	63
<i>Abies hidalgensis</i>	66
<i>Abies religiosa</i>	69
<i>Hesperocyparis benthamii</i>	73
<i>Hesperocyparis lusitanica</i>	76
<i>Juniperus angosturana</i>	79
<i>Juniperus deppeana</i>	82
<i>Juniperus flaccida</i>	86
<i>Juniperus monticola</i>	90
<i>Pinus ayacahuite</i>	94
<i>Pinus cembroides</i>	97
<i>Pinus devoniana</i>	100
<i>Pinus greggii</i>	103
<i>Pinus hartwegii</i>	106
<i>Pinus leiophylla</i>	109
<i>Pinus montezumae</i>	112
<i>Pinus oocarpa</i>	115
<i>Pinus patula</i>	118
<i>Pinus pinceana</i>	121

<i>Pinus pseudostrobus</i>	124
<i>Pinus teocote</i>	127
<i>Podocarpus matudae</i>	130
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	133
<i>Taxodium huegelii</i>	136
<i>Taxus globosa</i>	140
Panorama general de cambio climático.....	144
Riqueza de especies de coníferas en Hidalgo	144
CONCLUSIONES	145
ANEXOS	147
REFERENCIAS	190

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Coníferas nativas del estado de Hidalgo y sus categorías de riesgo.	18
Cuadro 2. Variables climáticas CHELSA versión 2.1 usadas para modelar la distribución actual y las condiciones futuras.	35
Cuadro 3. Registros utilizados para el modelado.	37
Cuadro 4. Conjunto de variables seleccionadas para el modelado de cada especie.	39
Cuadro 5. Tres de las variables más importantes usadas para el modelamiento por especie y su su porcentaje de contribución.	41
Cuadro 6. Superficie potencial global predicha y escenarios de cambio climático proyectados para el periodo 2041-2070.	43
Cuadro 7. Superficie de distribución potencial para Hidalgo con los escenarios de cambio climático proyectados para el periodo 2041-2070.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución global de las coníferas. Tomado de Farjon (2017).....	21
Figura 2. Mapa de distribución de las coníferas en México. Tomado de Manzanilla <i>et al.</i> (2018).	22
Figura 3. Representación gráfica del proceso empleado para la elaboración de un modelo de distribución de especies. Tomado de Martínez (2012).	26
Figura 4. Espacios geográficos (G: diagrama de Venn y mapa) y ambientales (E: diagrama de dispersión en la parte inferior) resumidos. Tomado de Peterson y Soberon (2012).....	28
Figura 5. Área de calibración de <i>A. guatemalensis</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	65
Figura 6. Área de calibración de <i>A. hidalgensis</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	68
Figura 7. Área de calibración de <i>A. religiosa</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	72
Figura 8. Área de calibración de <i>H. benthamii</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	75
Figura 9. Área de calibración de <i>H. lusitanica</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	78
Figura 10. Área de calibración de <i>J. angosturana</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	81
Figura 11. Área de calibración de <i>J. deppeana</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	85

Figura 12. Área de calibración de <i>J. flaccida</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	89
Figura 13. Área de calibración de <i>J. monticola</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	93
Figura 14. Área de calibración de <i>P. ayacahuite</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	96
Figura 15. Área de calibración de <i>P. cembroides</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	99
Figura 16. Área de calibración de <i>P. devoniana</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	102
Figura 17. Área de calibración de <i>P. greggii</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	105
Figura 18. Área de calibración de <i>P. hartwegii</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	108
Figura 19. Área de calibración de <i>P. leiophylla</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	111
Figura 20. Área de calibración de <i>P. montezumae</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	114
Figura 21. Área de calibración de <i>P. oocarpa</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	117

Figura 22. Área de calibración de <i>P. patula</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	120
Figura 23. Área de calibración de <i>P. pinceana</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	123
Figura 24. Área de calibración de <i>P. pseudostrobus</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	126
Figura 25. Área de calibración de <i>P. teocote</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	129
Figura 26. Área de calibración de <i>P. matudae</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	132
Figura 27. Área de calibración de <i>P. menziesii</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	135
Figura 28. Área de calibración de <i>T. huegelii</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	139
Figura 29. Área de calibración de <i>T. globosa</i> a) , distribución potencial global b) , distribución potencial en el estado de Hidalgo c) , escenarios climáticos a nivel global d-g) , escenarios climáticos a nivel estatal h-k)	143
Figura 30. Riqueza de coníferas en el estado de Hidalgo. Los números en las celdas (recuadros) representan la cantidad de especies presentes.....	145

RESUMEN

En Hidalgo se distribuyen cuatro familias de coníferas, con ocho géneros y 25 especies. La reducción de las poblaciones de coníferas se debe principalmente a incendios naturales o antrópicos, tala clandestina, cambio de uso de suelo, plagas, enfermedades y el cambio climático. El objetivo fue elaborar mapas de distribución potencial actual y futura y un mapa de riqueza de especies de coníferas nativas de Hidalgo. Se utilizaron registros de herbarios, bases de datos de GBIF y colectas en campo, así como 19 variables bioclimáticas mensuales de CHELSA versión 2.1 de los periodos 1981-2010 y 2041-2070 para generar los modelos de distribución potencial actual y bajo los escenarios SSP370 y SSP585 en los Modelos Climáticos Globales de GFDL-ESM4 y UKESM1-0-LL respectivamente en R con Biomod2. Se elaboró el mapa de riqueza de especies mediante Excel y QGIS ver. 3.26.1. La variable bio1 (temperatura media anual) fue la más importante en 17 especies. A nivel global y estatal *Abies hidalgensis* Debreczy, I. Rácz & Guizar es la especie con menor distribución potencial y *P. menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco la de mayor distribución potencial, *A. hidalgensis* presentara más pérdida de hábitat idóneo en el futuro y *Taxodium huegelii* C. Lawson menor pérdida. La mayor riqueza de especies (17) se encuentra el sureste del estado de Hidalgo. Aún faltan áreas de protección para *Pinus pinceana* Gordon, especie en peligro de extinción, así como para *A. hidalgensis*, especie endémica de Hidalgo y vulnerable a la degradación de su hábitat.

PALABRAS CLAVE: Biomod2, coníferas, distribución potencial, escenarios de cambio climático, riqueza de especies.

ABSTRACT

Four families of conifers are distributed in Hidalgo, with eight genera and 25 species. The reduction in conifer populations is mainly due to natural or anthropogenic fires, illegal logging, land-use changes, pests, diseases, and climate change. The objective was to develop current and future potential distribution maps and a species richness map of native conifers in Hidalgo. Herbaria records, GBIF databases and field collections, as well as 19 monthly bioclimatic variables from CHELSA version 2.1 for the periods 1981–2010 and 2041–2070 were used to generate the current potential distribution models and under the SSP370 and SSP585 scenarios in the GFDL-ESM4 and UKESM1-0-LL Global Climate Models respectively in R with Biomod2. The species richness map was created using Excel and QGIS version 3.26.1. The variable bio1 (mean annual temperature) was the most important in 17 species. At the global and state level, *Abies hidalgensis* Debreczy, I. Rácz & Guizar is the species with the lowest potential distribution and *P. menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco the one with the greatest potential distribution. *A. hidalgensis* will present more loss of suitable habitat in the future and *Taxodium huegelii* C. Lawson less. The highest species richness (17) is found in the southeast of the state of Hidalgo. Protection areas are still lacking for *Pinus pinceana* Gordon, an endangered species, as well as for *A. hidalgensis*, a species endemic to Hidalgo and vulnerable to habitat degradation.

KEY WORDS: Biomod2, climate change scenarios, conifers, potential distribution, species richness.

INTRODUCCIÓN

¿Qué son las coníferas?

Este grupo de plantas con semillas descienden de un ancestro común que existió hace más de 300 millones de años (Eckenwalder, 2009) cuyo término significa "portadora de conos" (Farjon, 2017).

Características morfológicas

Las coníferas presentan hábito de crecimiento arbóreo o arbustivo, presentan flores masculinas y femeninas en el mismo árbol o en arboles separados (Farjon, 2008; Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Las hojas son simples con nervadura simple o paralela (Farjon, 2017). Pueden ser aciculares, escamosas, lineares, lanceoladas y falcadas. Son persistentes o deciduas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

La corteza puede ser rugosa o lisa, en tiras grandes y fisuradamente gruesas o en tiras largamente delgadas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Los estróbilos o conos masculinos son microesporangiados simples, constituidos por microesporófilas arregladas helicoidalmente en torno a un eje central y pueden presentar dos o más microesporangios a un lado del eje (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). Los estróbilos o conos femeninos son monoesporangiados. Están formados por un complejo bráctea-escama que puede presentarse libre o fusionado con arreglo helicoidal en torno a un eje central; no obstante, en las familias Podocarpaceae y Taxaceae están limitados a una o dos escamas con un solo óvulo. Son leñosos, sin embargo, los del género *Juniperus* L. son carnosos o fibrosos, y en las familias Podocarpaceae y en Taxaceae, los óvulos se encuentran envueltos por epimacios y arilos, respectivamente, cuyas estructuras carnosas e infértiles presentan colores llamativos; en los géneros *Pinus* L. y *Juniperus* los conos pueden madurar de uno a tres años (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Algunas semillas tienen un ala para transportarse en el viento; por otra parte, las semillas de los ahuehuetes se propagan a través del agua; los pinos piñoneros presentan un ala muy corta que el viento no puede dispersar (ala vestigial), la dispersión de las semillas la realiza la fauna silvestre; en particular

las familias Podocarpaceae, Taxaceae y el género *Juniperus* carecen de ala y su propagación se lleva a cabo por la fauna silvestre (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Filogenia y evolución

En la historia y evolución de las coníferas se conocen que han tenido que adaptarse a condiciones extremas desde el Cretácico medio debido a la dominancia de las angiospermas sobre ellas (Farjon, 2017).

Globalmente Eckenwalder (2009) y Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) reconocen seis familias; por otra parte, Farjon (2017) las clasifica en ocho familias, las tres familias más grandes son: Pinaceae (231 especies), Podocarpaceae (174 especies) y Cupressaceae (135 especies). También se consideran las Cephalotaxaceae y Taxaceae; las Taxodiaceae están integradas en las Cupresáceas exceptuando a *Sciadopitys* Siebold & Zucc. que tiene su propia familia. La histórica familia Araucariaceae tiene tres géneros y finalmente está la Phyllocladaceae (Farjon, 2017).

En cuanto a los géneros existentes en el mundo, Eckenwalder (2009) reconoce 67; Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) 71 y Farjon (2017) 70.

También existe discrepancia en el número de especies existentes a nivel mundial, en particular Eckenwalder (2009) menciona que existen 546; Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) reconocen 670; mientras que, para Farjon (2017) existen 614 especies, pero como entre éstas existen algunas variedades y subespecies reconocidas la cantidad aumenta a unas 800, siendo este grupo natural de plantas el que alberga la mayor diversidad biológica.

México cuenta con la mayor diversidad de especies de coníferas (Farjon y Page, 1999), en el que hay cuatro familias: Cupressaceae, Pinaceae, Podocarpaceae y Taxaceae; con 10 géneros y 94 especies nativas en las que 43 son endémicas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). En el noroeste del país existe la mayor cantidad de coníferas. El estado de Jalisco presenta la mayor cantidad (34 especies), Durango tiene 32 especies y Chihuahua 29. En la sierra Madre Oriental al noreste del país se concentra una cantidad de especies similar a las de la Sierra Madre Occidental; en Coahuila, Hidalgo y Nuevo León hay 28 especies, en Oaxaca 23 especies. *Juniperus* y *Pinus* son los géneros de coníferas con mayor biodiversidad en el país (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

En el estado de Hidalgo se encuentran cuatro familias (Cupressaceae, Pinaceae, Podocarpaceae y Taxaceae); ocho géneros (*Abies* Mill., *Callitropsis* Oerst., *Juniperus* L., *Pinus* L., *Podocarpus* L'Hér.

ex Pers., *Pseudotsuga* Carrière, *Taxodium* Rich. y *Taxus* L.), siendo uno de los estados con mayor concentración de géneros (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014); por otra parte, Hernández *et al.*, (2018) reportan 25 especies nativas para Hidalgo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coníferas nativas del estado de Hidalgo y sus categorías de riesgo.

Familia	Género	Especie	Categoría NOM-059-SEMARNAT-2010)	Categoría Lista roja de la IUCN
CUPRESSACEAE	<i>Callitropsis</i>	<i>C. benthamii</i> (Endl.) D.P. Little		NT
		<i>C. lusitanica</i> (Mill.) D.P. Little	Pr	LC
	<i>Juniperus</i>	<i>J. angosturana</i> R.P. Adams		VU
		<i>J. deppeana</i> Steud.		LC
		<i>J. flaccida</i> Schldtl.		LC
		<i>J. monticola</i> Martínez	Pr	LC
	<i>Taxodium</i>	<i>T. huegelii</i> C. Lawson		LC
PODOCARPACEAE	<i>Podocarpus</i>	<i>P. matudae</i> Lundell	Pr	VU
TAXACEAE	<i>Taxus</i>	<i>T. globosa</i> Schldtl.	Pr	EN

PINACEAE	<i>Abies</i>	<i>A. guatemalensis</i> Rehder	P	EN
		<i>A. hidalgensis</i> Debreczy, I. Rácz & Guizar		VU
		<i>A. religiosa</i> (Kunth) Schltldl & Cham.		LC
	<i>Pinus</i>	<i>P. ayacahuite</i> Ehrenberg ex Schltldl.		LC
		<i>P. cembroides</i> Zucc.		LC
		<i>P. devoniana</i> Lindl.		LC
		<i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl.		VU
		<i>P. hartwegii</i> Lindl.		LC
		<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltldl. & Cham.		LC
		<i>P. montezumae</i> Lamb.		LC
<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltldl.		LC		

	<i>P. patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.		LC
	<i>P. pinceana</i> Gordon.	P	LC
	<i>P. pseudostrobis</i> Lindl.		LC
	<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.		LC
<i>Pseudotsuga</i>	<i>P. menziesii</i> var. <i>glauca</i> (Beissn.) Franco	Pr	LC

NOM-059-SEMARNAT-2010: Norma Oficial Mexicana para la protección ambiental, relativa a especies nativas de México de flora y fauna silvestres; IUCN: The International Union for Conservation of Nature

Distribución y ecología de las coníferas

Los bosques de coníferas están ampliamente distribuidos en lugares con clima templado y frío del hemisferio boreal (Rzedowski, 2006; Farjon, 2017). Las coníferas existen en casi todo tipo de vegetación, la mayoría de las especies cubren gran parte del hemisferio norte debido a la gran extensión de bosque de coníferas presente en Norteamérica y en la zona boreal de Eurasia; sin embargo, la diversidad aumenta hacia el sur (Farjon, 2017). En el siguiente mapa de la Figura 1 se observa la distribución de las coníferas a nivel mundial.



Figura 1. Distribución global de las coníferas. Tomado de Farjon (2017).

En México las coníferas se encuentran en bosque de *Abies*, *Callitropsis*, bosque o matorral de *Juniperus*, bosque de *Picea* y *Pseudotsuga*, bosque de pino y matorral de pino, además del bosque de galería, bosque mixto, bosque de niebla, y matorral xerófilo (Rzedowski, 1978). Su distribución latitudinal y altitudinal en el país es tan amplia que se pueden encontrar desde las costas hasta los volcanes más altos del Eje Volcánico Transversal (Farjon, 2017; Figura 2).

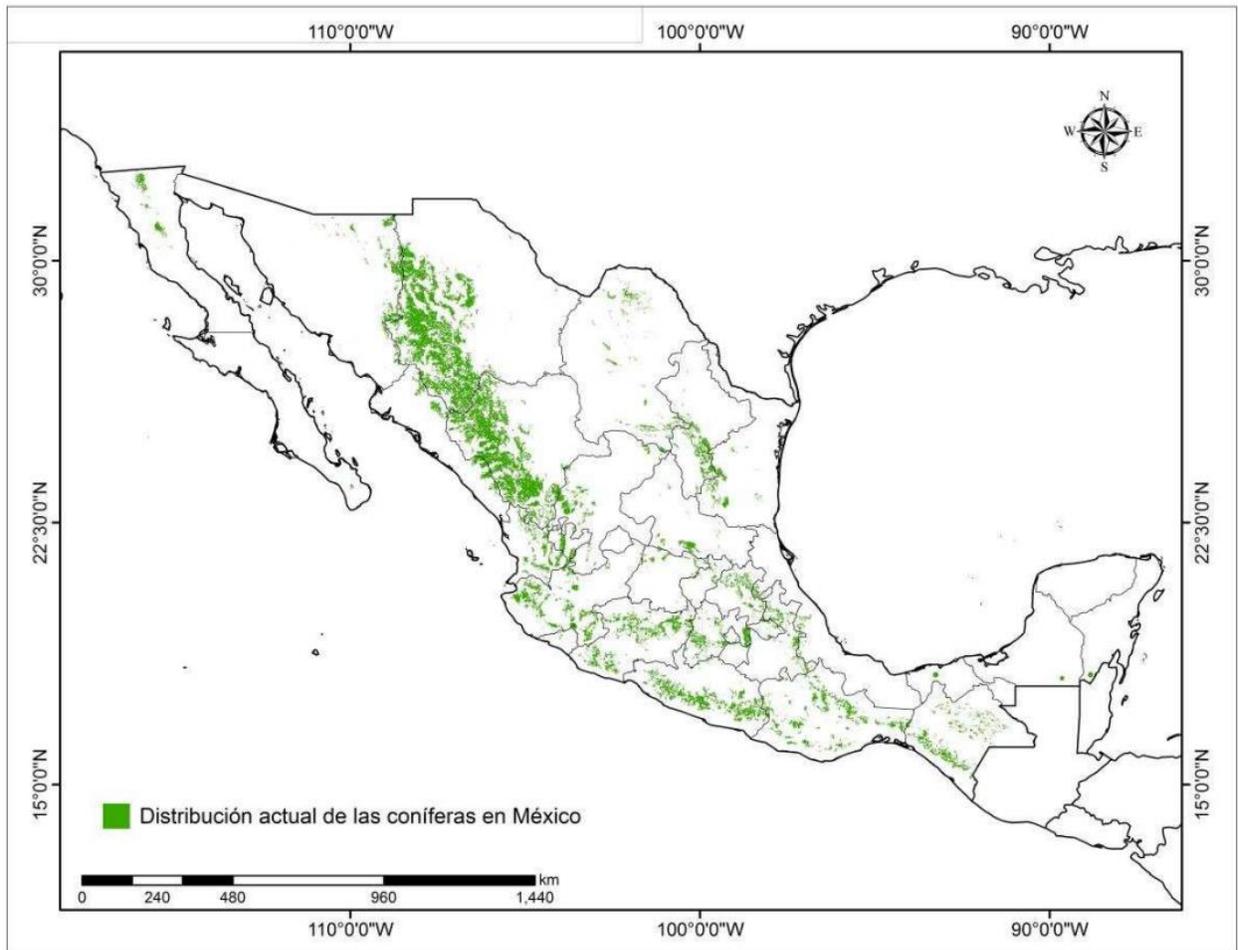


Figura 2. Mapa de distribución de las coníferas en México. Tomado de Manzanilla *et al.* (2018).

Problemática

Las causas principales de la reducción de las poblaciones de coníferas son el aumento de la población (Farjon, 2017), incendios ya sean naturales o provocados por el humano, la tala inmoderada, el cambio de uso de suelo, el cambio climático (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014), las plagas forestales como los escarabajos descortezadores (García de la Serrana *et al.*, 2015) y las enfermedades (Hansen *et al.*, 1997; Cannon *et al.*, 2016).

Los estudios que evalúan el impacto que generan dichos factores a la biodiversidad, son limitados para grupos de organismos particulares (Bregman *et al.*, 2014). Las especies de coníferas son generalmente árboles muy grandes y longevos que sirven de hogar para muchas especies de

animales, hongos y plantas a lo que les atribuye ser piezas clave en el ecosistema, por lo tanto, es de suma importancia realizar investigación donde la tala y la deforestación (Farjon, 2017) y las causas anteriormente citadas suponen una amenaza latente para este grupo de plantas.

En México, los bosques templados se encuentran en un área cercana al 17 % del territorio (Galicia *et al.*, 2015). Sin embargo, la degradación de la tierra ha provocado una disminución cercana al 45% de estos bosques (Semarnat-Colegio de Postgraduados, 2002). Programas como Procampo y Alianza para el Campo promueven el cambio de uso de suelo (Schmook y Vance, 2009). En contraparte, el gobierno ha decidido legislar y establecer programas de políticas públicas (Goldstein *et al.*, 2011; Cotler *et al.*, 2013), como lo es la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), programas de certificación forestal, programas de forestación y reforestación, creación de áreas naturales protegidas y programas de pago por servicios ambientales (Flores *et al.*, 2021).

De acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, hay al menos 39 especies de coníferas en alguna categoría de riesgo en el país entre las cuales se encuentran: cinco especies del género *Abies*, cuatro del género *Hesperocyparis*, la especie *Calocedrus decurrens*, dos del género *Juniperus*, tres del género *Picea*, 20 del género *Pinus* y las especies *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*, *Podocarpus matudae* y *Taxus globosa*.

En el estado de Hidalgo el principal problema al que se enfrentan las coníferas es a los escarabajos descortezadores. La CONAFOR (2024), reporta que durante el periodo 2013 al 2023 recibieron 867 notificaciones en el estado y gran parte para el combate y control de escarabajos descortezadores, tan solo en el año 2021 recibieron 239 notificaciones para el control de esta plaga, lo que derivó de una remoción de 70,768.78 m³ de Volumen Total Árbol (VTA) (se refiere al volumen de madera y corteza del árbol, incluyendo fuste, puntas y ramas) en 3,040.94 hectáreas.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar mapas de distribución potencial actual y bajo escenarios de cambio climático, además de un mapa de riqueza de especies de coníferas nativas del estado de Hidalgo mediante el uso de herramientas de análisis espacial, con el propósito de generar una base científica que facilite el desarrollo de investigaciones orientadas a la conservación, restauración, manejo silvícola, y caracterización fenotípica y genotípica, entre otros.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar mapas de distribución potencial y bajo escenarios de cambio climático para las 25 especies de coníferas, con base en georreferencias obtenidas en línea y complementadas con trabajo de campo mediante los SIG.
- Elaborar un mapa de riqueza de especies para detectar áreas de alta riqueza de coníferas en Hidalgo.

HIPÓTESIS

Los modelos de distribución potencial y escenarios de cambio climático permitirán generar mapas para conocer las condiciones idóneas de las especies en el presente y el futuro. Así mismo es posible detectar zonas con alta la riqueza de especies de coníferas en el estado de Hidalgo, que contribuirán para la toma de decisiones en temas de conservación y planes de manejo silvícola para su aprovechamiento sustentable a nivel estatal.

JUSTIFICACIÓN

A pesar de la importancia que tienen las coníferas, aún falta información sobre la distribución geográfica de las especies existentes en el estado de Hidalgo, los mapas generados en esta investigación constituyen la base para la elaboración de futuros trabajos de investigación relacionados con la conservación, restauración, caracterización fenotípica y genotípica y mejoramiento genético de las especies, el manejo sostenible y el aprovechamiento racional de los recursos biológicos, entre otros.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Capital natural

Se le denomina capital natural al conjunto de ecosistemas naturales como los manejados por el hombre, que generan bienes y servicios y son perdurables por sí mismos o por intervención humana (Sarukhán *et al.*, 2009).

Biodiversidad

La biodiversidad es el grado de diversificación entre seres vivos y los componentes ecológicos en los que coexisten (Crist y Veech, 2006).

Pérdida de biodiversidad

Las acciones antropogénicas dañan el entorno natural, reduciendo las poblaciones de las especies y llevando a algunas especies a la extinción, por consiguiente, provocando un cambio en los ecosistemas (Montoya *et al.*, 2018).

Cambio climático

La variabilidad climática se refiere a cambios en escalas de tiempo de un año o más (Lindzen, 1994). Parry *et al.*, (2007) definen al cambio climático como cualquier cambio del clima a través del tiempo, por variabilidad natural o a causa de la actividad humana.

El sistema climático surge por cómo se manifiesta la energía en cantidad, distribución y equilibrio neto en la superficie del planeta; la biosfera es la encargada de controlar la circulación de materia y energía en el sistema terrestre aumentando resistencia ante cambios repentinos y progresivos (Steffen *et al.*, 2015).

Las especies nativas han aumentado la vulnerabilidad al cambio climático, provocando cambios en la abundancia, composición, fenología y la distribución de las especies (Parmesan y Yohe 2003, Peterson *et al.* 2015). Esa vulnerabilidad también es provocada por la pérdida de hábitat y la invasión de especies exóticas (Martínez, 2017). En especies forestales el cambio climático provocará estrés hídrico, la presencia de plagas y enfermedades será más frecuente, habrá una disminución en la polinización y productividad (Allen, 2009; Conafor, 2013; IPCC, 2014). Tales impactos originaran una migración de especies en gran magnitud hacia nuevos sitios (Yanchuk y Allard, 2009).

Distribución geográfica de especies

La distribución geográfica de una especie está estrechamente relacionada con su ecología e historia evolutiva (Brown, 1995) y determinada por distintos factores actuando a diferente intensidad y escala (Gaston, 2013), incluyendo el medio ambiente, su capacidad de dispersión, barreras de dispersión y la interacción con otras especies (Peterson *et al.* 2011). Este enfoque permite implementar medidas preventivas que minimicen la probabilidad de que las especies sean clasificadas en categorías de riesgo, como aquellas asociadas a la amenaza de extinción, promoviendo así la preservación de la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas.

Nicho ecológico

El nicho ecológico hace referencia a factores ambientales (tanto bióticos como abióticos) interactuando sobre una especie, el cual se representa como una región n-dimensional del hiperespacio y se divide en nicho fundamental y realizado (Hutchinson, 1957).

Modelado de la distribución de especies

Los modelos de distribución de especies (MDE) (Figura 3) son representaciones cartográficas de las áreas de idoneidad para la presencia de una especie en función de las variables ambientales empleadas para generar tal representación (Mateo *et al.*, 2011).

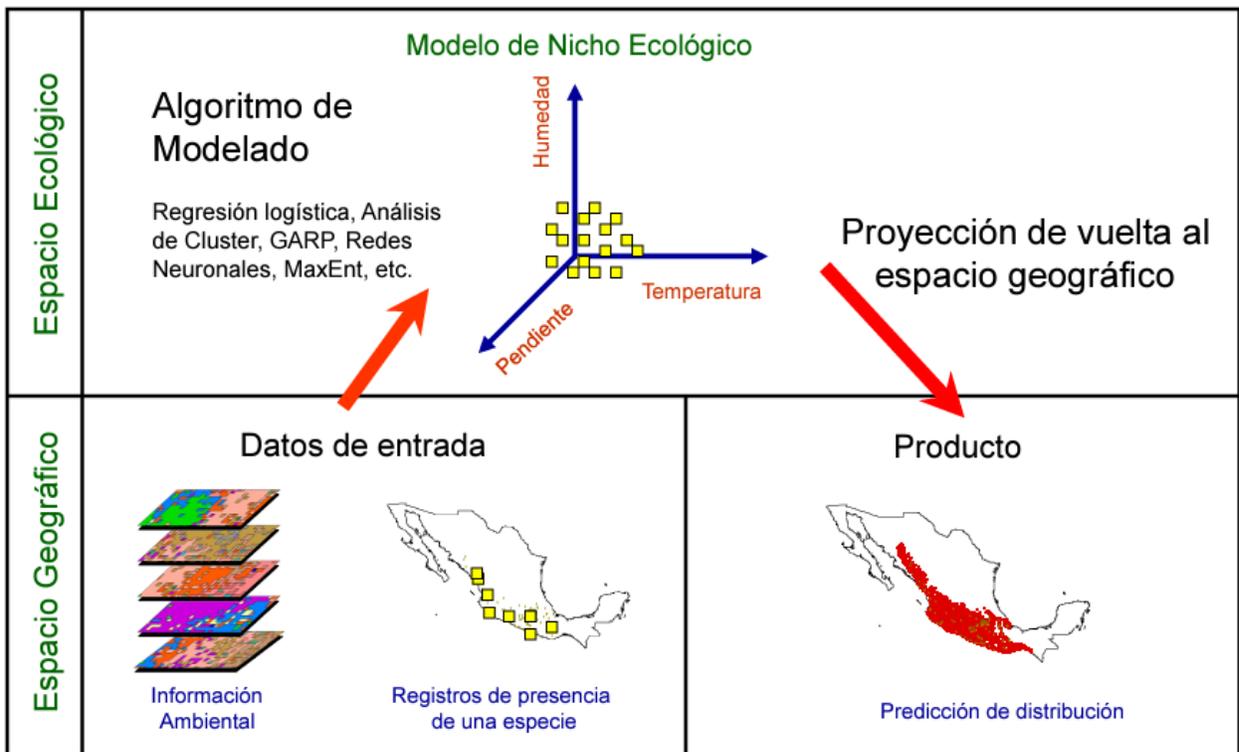


Figura 3. Representación gráfica del proceso empleado para la elaboración de un modelo de distribución de especies. Tomado de Martínez (2012).

Diagrama BAM

El concepto BAM (Biótico, Abiótico, Movilidad) (Figura 2) es fundamental para generar los modelos de nicho ecológico (MNE), pues representa la estructura de la distribución de las especies. Este concepto proyecta diferentes áreas que deben considerarse dentro del espacio geográfico de

alguna región del planeta (G) en el cual se encuentran las condiciones abióticas (A) y bióticas (B) adecuadas para la especie. La intersección de ambas áreas ($A \cap B = Gp$) representa el área idónea para la especie, o la distribución potencial de la especie (Gp). Si existen barreras naturales que dificulten su movilidad o si se encuentra geográficamente muy alejada (M), no toda el área idónea estará disponible para la especie. Aquella área que es adecuada pero no accesible se le conoce como área de distribución invadible (GI). Esto conlleva al área de distribución "real" u ocupada (Go) con la siguiente configuración: $Go = A \cap B \cap M = Gp \cap M$ (Peterson y Soberon, 2012).

En la Figura 4 se muestra un ejemplo del nicho fundamental (elipse en el espacio E) resultante de las combinaciones entre la precipitación y la temperatura anual en el continente americano, en el cual se observa que la especie se limita a un área M (representada con la elipse del mapa) y no se encuentra en toda su área invadible (GI) (Peterson y Soberon, 2012).

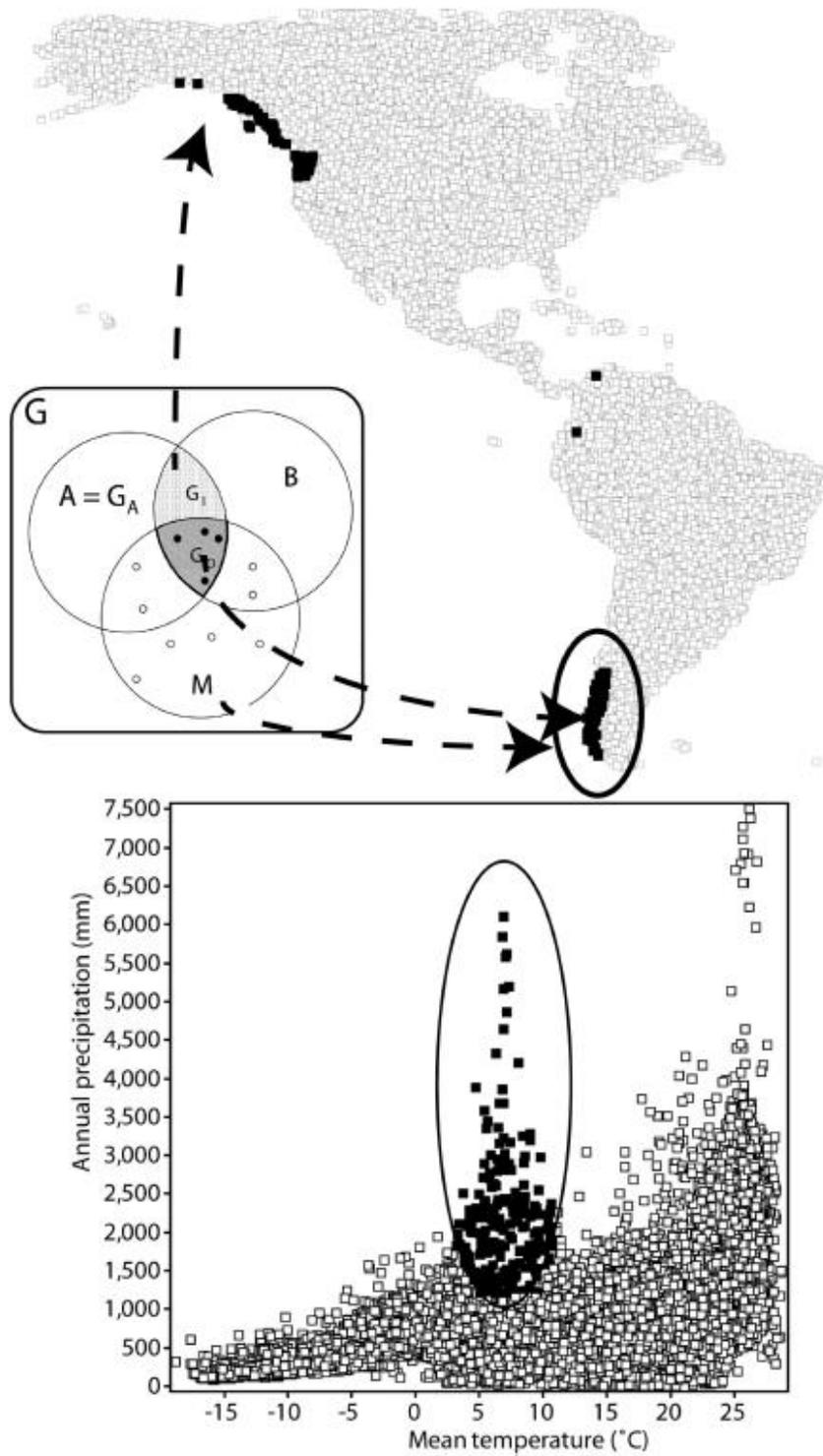


Figura 4. Espacios geográficos (G: diagrama de Venn y mapa) y ambientales (E: diagrama de dispersión en la parte inferior) resumidos. Tomado de Peterson y Soberon (2012).

Riqueza de especies

La riqueza de especies es el número total de especies (Magurran, 1988). Es el método de medición más utilizado en estudios biogeográficos para caracterizar la diversidad de un conjunto en donde sólo se tiene información biológica de presencia-ausencia.

En los análisis de conservación, la cantidad real de especies en un área suele ser la medida más adecuada de diversidad, incluso cuando se conoce la abundancia de especies (Chao y Chiu, 2016).

Antecedentes de investigaciones más relacionadas

A nivel general el estudio realizado por Ramos *et al.* (2017) es el más parecido a esta investigación.

Para el estado de Hidalgo se conoce el número de especies de coníferas nativas por medio del trabajo de Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) quienes indican en su estudio que en el estado de Hidalgo hay 24 especies presentes; más tarde, Hernández *et al.* (2018) reportan 25 especies. En cuanto a la distribución de las coníferas en el estado, sólo se conoce un mapa de distribución general de las especies mediante el "Inventario Forestal Estatal y de Suelos de Hidalgo" (IFEyS-Hidalgo, 2014), sin mapas individuales por especie.

A nivel especie se conoce el trabajo de Contreras *et al.* (2006) en el que dan a conocer la distribución natural por medio de registros de *Podocarpus reichei* J.Buchholz & N.E.Gray, que ahora es mejor reconocido como sinónimo de *Podocarpus matudae* (WFO, 2025); los trabajos sobre modelado de distribución potencial para algunas de las especies de coníferas para el estado son los de Canales *et al.* (2022) sobre la distribución de *Taxodium huegelii* C. Lawson en Hidalgo y el de la tesis de doctorado de Rosales (2023) en el que investigó la estructura poblacional ecológica y genética de *Abies hidalgensis* en condiciones naturales y de manejo forestal como una propuesta de manejo para la conservación.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Hidalgo se localiza en la zona centro de México. Sus coordenadas geográficas son: 21°23'55" al norte, 19°35'52" al sur de latitud norte; 97°59'06" al este, 99°51'34" al oeste de longitud oeste. Tiene un área de 20, 905.12 km² (1.1%) en el país. Cuenta con 13 tipos de clima: Cálido húmedo con lluvias todo el año (Af), Cálido subhúmedo con lluvias en verano (A(w)), Semicálido húmedo con lluvias todo el año (ACf), Semicálido húmedo con lluvias en verano (ACm), Semicálido subhúmedo con lluvias en verano (ACw), Templado húmedo con lluvias todo el año (C(f)), Templado húmedo con abundantes lluvias en verano (C(m)), Templado subhúmedo con lluvias en verano, (C(w)), Semifrío subhúmedo con lluvias en verano (C(E)(w)), Semiseco muy cálido y cálido (BS1(h')), Semiseco semicálido (BS1h), Semiseco templado (BS1k) y Seco semicálido (BSh). Su precipitación media anual es de 800 mm y con una temperatura media anual de 18 °C. Presenta bosque de coníferas y encinos, bosque de galería, bosque mesófilo de montaña, matorral, pastizal, selva húmeda y selva seca (INEGI, 2017).

Trabajo de campo

Previo a las salidas se realizaron mapas preliminares de las especies con las que no se contaba con registros para poder detectar áreas de alta idoneidad. Una vez identificadas las áreas potenciales se realizaron recorridos de campo en diversos municipios del estado para georreferenciar y coleccionar muestras botánicas de las diferentes especies de coníferas nativas en el estado de Hidalgo (ANEXOS 1). La metodología implementada para la colecta de datos de cada árbol se describe en los siguientes renglones:

Se georreferenciaron con un geoposicionador marca Garmin GPSmap 62s, se midió el DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) a 1.30 m con una cinta diamétrica marca Forestry Suppliers de 320 cm de diámetro y con sistema métrico de 10 m lineales, con la que también se usó para medir la distancia de separación entre el árbol y la posición de observación para medir la altura con un altímetro marca Haga, para cortar las muestras se usó una tijera de extensión marca Corona, las muestras se cubrieron con papel periódico y se prensaron en prensas botánicas, posteriormente se pusieron a secar y se montaron.

Se tomó un duplicado por muestra y se depositaron en el herbario (MEXU) del Instituto de Biología de la UNAM aquellos taxones que se encuentran en alguna categoría de riesgo o ubicados en nuevas localidades.

Delimitación taxonómica y distribución natural de especies

Se utilizaron de referencia la plataforma World Flora Online (WFO, 2024), la revisión de las coníferas de México de Gernandt y Pérez de la Rosa (2014), así como algunas referencias complementarias específicas para cada taxón.

La distribución natural de las especies estuvo basada en Villaseñor (2016), Farjon (2017), Earle (2024) y referencias de otros trabajos para complementar la información. Se eliminaron registros fuera del rango de distribución natural (países, estados o municipios para el caso del estado de Hidalgo).

Consulta en herbarios

Se analizaron las bases de datos herborizadas de instituciones como: MEXU-IB-UNAM, CHAP-Chapingo, ICAp-UAEH y el ICBI-UAEH.

Consulta de bases de datos electrónicas

Se analizaron las bases de datos biológicas de GBIF (Global Biodiversity Information Facility, 2019). Para todas las especies se utilizaron como base de registro “espécimen preservado” y para algunas especies se complementó con “observación humana” en los casos en los que no complementaban la información reportada para la distribución natural, particularmente para especies con numerosos registros. Para el caso de especies con pocos registros no se aplicaron filtros y se verificaron cada una para mantener la mayor cantidad de registros posibles. Posteriormente se seleccionó el formato *Darwin Core* y se descargaron las bases de datos.

Abies guatemalensis

De acuerdo con Vázquez *et al.*, (2014), *Abies jaliscana* anteriormente era considerada sinónimo de *A. guatemalensis* pero actualmente está establecido que son especies completamente diferentes, de tal modo que para el modelado de la distribución potencial, se tuvieron que eliminar los

registros correspondientes con *A. guatemalensis* var. *jaliscana*, *A. guatemalensis* sub. *jaliscana* y *Abies religiosa* var. *emarginata* por ser sinónimos de *A. jaliscana* (WFO, 2024). También se eliminaron los registros de *Abies flinckii* por ser una especie diferente Vázquez *et al.*, (2014). Con respecto a los mapas de distribución potencial obtenidos por Martínez *et al.*, (2016), se eliminaron los registros de Michoacán, Jalisco, Nuevo León y Tamaulipas debido a que no corresponden con *Abies guatemalensis*.

Abies hidalgensis

Se tomó la base de registro “especimen preservado”. Los registros de Zimapán se cambiaron a la especie *A. guatemalensis* ya que ese municipio se encuentra muy alejado y no corresponde a la distribución natural de *Abies hidalgensis* (Rosales *et al.*, 2023).

Abies religiosa

Se utilizó la base de registro “especimen preservado”. No se encontraron registros en los estados de Aguascalientes, Chiapas y Nuevo León. Se eliminaron registros en los municipios de Atotonilco el Grande y Tepeapulco por estar en área urbana y el otro en área de cultivo respectivamente, estos argumentos son necesarios para considerarlos como cultivados.

Hesperocyparis benthamii

La base de registro para la especie fue solo “especimen preservado”. Se usaron los registros con el género *Cupressus* y *Callitropsis*, ya que son sinónimos del género *Hesperocyparis* que es el género reconocido actualmente (Randall *et al.*, 2012; WFO, 2024).

Hesperocyparis lusitanica

Se filtró la base de registro “especimen preservado” para México con la finalidad de disminuir la cantidad de registros potencialmente erróneos debido a una mala identificación. Para Guatemala, Honduras y El Salvador si se incluyeron “observaciones humanas” para complementar los registros faltantes en esos países. Farjon (2017) menciona que el área de distribución de la especie se encuentra también en Belice, sin embargo, en las bases de datos de GBIF no se encontraron registros para ese país. Se buscaron trabajos recientes sobre filogenia y delimitación de especies. Así como trabajos previos de modelado de la distribución potencial de la especie. Al igual que *C.*

benthamii, en esta especie también se consideraron los registros con el género *Cupressus* y *Hesperocyparis*.

Juniperus angosturana

La base de registro utilizada para la especie fue “espécimen preservado”. No se seleccionaron los registros de Estados Unidos por no corresponder a la distribución de la especie (Farjon, 2017).

Juniperus deppeana

Se usó únicamente la base de registro “espécimen preservado” por contar con suficientes registros. Dos registros ubicados en el municipio de Metepec datan de 1906, en la actualidad esos puntos se encuentran en áreas de cultivo, dificultando la comprobación de la identificación taxonómica de la especie, por lo tanto, no fueron considerados para el modelado. En los municipios de Tepehuacán de Guerrero y Nopala de Villagrán se eliminaron dos registros por municipio respectivamente por no corresponder con las localidades descritas en la base de datos.

Juniperus flaccida

Se emplearon registros de “espécimen preservado”. No se encontraron registros en los estados de Aguascalientes y Colima.

Juniperus monticola

Se usó la base de registro “espécimen preservado”, pero para obtener información en el estado de Colima que pertenece a la distribución natural de la especie se usaron “observaciones humanas” (con un solo registro). Los registros localizados en los municipios de Cardonal y Metztlán Hidalgo fueron eliminados porque no se encuentran en la distribución natural de la especie, además, datan de los años 1982 y 1977 respectivamente, en la actualidad esas zonas ahora son de cultivo, esta situación dificulta conocer si los datos registrados corresponden a la especie.

Taxodium huegelii

Se usó la base de registro “espécimen preservado”, pero para complementar los registros de otros estados con distribución natural de la especie se usaron algunos registros de “observaciones humanas”.

Limpieza de datos

A los registros que se obtuvieron de las diferentes fuentes de GBIF se les hizo una limpieza siguiendo el método de Cobos *et al.*, (2018) para depurar información errónea en las bases de datos. También se complementó usando el paquete “CoordinateCleaner” (Zizka *et al.*, 2019) y a partir de aquí todos los análisis se realizaron con el software estadístico R (v4.3.2; R Core Team, 2021). “CoordinateCleaner” es un paquete creado para solucionar problemas comunes en las bases de datos biológicas y paleontológicas en el que es posible trabajar con millones de registros. Su base de datos está conformada por 9.691 instituciones de biodiversidad a nivel mundial. Tiene funciones para detectar registros con coordenadas potencialmente problemáticos basados en nomenclatura geográfica y posibles registros que deriven de horticultura o cautiverio. También cuenta con nuevos algoritmos que permiten identificar bases de datos con errores de conversión, con fuerte redondeo decimal, conjuntos de datos rasterizados y pruebas espacio-temporales para el caso de los fósiles (Zizka *et al.*, 2019). Estos registros se utilizaron para la generación de los modelos de distribución potencial presentes y los escenarios de cambio climático.

Calibración de los datos

Para este proceso de adelgazamiento espacial se empleó el paquete “spThin” (Aiello-Lammens *et al.*, 2015), estandarizando a 10 km de distancia entre puntos para cada especie; en el caso de *A. hidalgensis* no se realizó la calibración por ser una especie endémica de Hidalgo con distribución geográfica restringida y pocos registros, esto con la finalidad de obtener modelos robustos (Pearson *et al.*, 2007) con un umbral mínimo de 23 registros que son con los que se cuenta para esta especie (Cuadro 3).

Selección de variables ambientales

Debido a que el clima es un componente determinante en las respuestas ecológicas y fisiológicas de las especies vegetales (Franklin, 2010, Peterson *et al.*, 2011) para la generación de los modelos de distribución potencial actual se usaron 19 variables mensuales de temperatura y precipitación mínima y máxima con información del periodo 1981 al 2010 (Cuadro 2) de la página CHELSA (Climatologies at high resolution for the earth’s land surface areas) versión 2.1 (Karger *et al.* 2017), y para modelar las condiciones futuras se utilizaron las mismas variables de temperatura y precipitación de los MCG (Modelos Climáticos Globales) GFDL-ESM4 y UKESM1-0-LL cada

uno proyectado bajo los escenarios SSP370 Y SSP585 del periodo 2041-2070, estas variables tienen una resolución espacial de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km²) (Karger *et al.*, 2017).

Cuadro 2. Variables climáticas CHELSA versión 2.1 usadas para modelar la distribución actual y las condiciones futuras.

Variable	Descripción
bio1	Temperatura media anual.
bio2	Rango de temperatura media diurna.
bio3	Isotermalidad.
bio4	Estacionalidad de la temperatura.
bio5	Temperatura máxima del mes más cálido.
bio6	Temperatura mínima del mes más frío.
bio7	Rango anual de temperatura.
bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo.
bio9	Temperatura media del trimestre más seco.
bio10	Temperatura media del trimestre más cálido.
bio11	Temperatura media del trimestre más frío.
bio12	Precipitación anual.
bio13	Precipitación del mes más lluvioso.
bio14	Precipitación del mes más seco.
bio15	Estacionalidad de la precipitación.
bio16	Precipitación del trimestre más húmedo.
bio17	Precipitación del trimestre más seco.
bio18	Precipitación del trimestre más cálido.
bio19	Precipitación del trimestre más frío.

CHELSA: Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas

Se realizó una correlación de Pearson por cada especie con la función "corSelect" del paquete "fuzzySim" (Barbosa, 2015) y se seleccionaron solo las variables que no estuvieron correlacionadas entre sí bajo un umbral $<0,8$. Esto se hizo para las variables de presente y futuro.

Área M

La obtención de la M de estudio para cada especie se realizó usando como base las Ecorregiones Terrestres Mundiales (World Wildlife Fund) versión 2.0 (Olson *et al.*, 2001).

Pseudoausencias

Se le indico al script que creara 10000 pseudoausencias con 10 repeticiones al azar.

Calibración de algoritmos

Se empleó un 70% de los datos para el entrenamiento y un 30% para la validación con 10 repeticiones por cada modelo.

Se seleccionaron las métricas de evaluación ROC (Receiver Operating Characteristics) y TSS (True Skills Statistic) para evaluar el rendimiento de los modelos.

Mapas de distribución potencial y escenarios de cambio climático

Se utilizó la plataforma de BioMod2 para ensamblar los algoritmos, indicando a las métricas de evaluación que seleccionaran solo modelos con un umbral mínimo de 0.8.

Se utilizaron los algoritmos: generalized linear models (GLM), generalized boosted models (GBM), generalized additive models (GAM), Random Forest (RF) y Maxent. Maxent se considera el mejor enfoque de modelado (Phillips *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007). Los mapas se diseñaron con ArcGis™ versión 10.8.2. (Esri, 2016).

Mapa de riqueza de especies

Se utilizó la metodología propuesta por A. Townsend Peterson (2019). Para estimar el tamaño de celda apropiado se sumaron las distancias de los dos registros más distantes por especie y se promediaron para finalmente obtener un 10% de esa distancia. Con el cuadrante generado se creó el mapa de riqueza de especies (Suárez-Mota y Villaseñor, 2011) con ayuda de la hoja de cálculo de Microsoft® Excel® LTSC MSO versión 2018 y el programa QGIS ver. 3.26. Se usó un tamaño

de celda constante y se contó el número de especies cuya distribución interceptó una celda determinada (Arita-Watanabe, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Trabajo de campo

Se realizaron 23 salidas de campo durante el periodo del 7 de julio de 2022 al 6 de junio de 2023 en 15 municipios del estado de Hidalgo, en las cuales se colectaron 60 ejemplares de 19 especies (ANEXO 1).

Calibración de datos

Se obtuvieron un total de 196,913 registros de las bases de datos de GBIF pertenecientes a las 25 especies de coníferas nativas del estado de Hidalgo. *P. menziesii* es la especie que mayor cantidad de registros se obtuvo con un total de 43,659 (54.79%) por ser el taxón con mayor distribución geográfica, seguida por *H. lusitanica* con 3,228 (4.05%), por el contrario, *A. hidalgensis* es la especie que menor cantidad de registros se obtuvo con un total de 36 (0.04%). Con los criterios de limpieza empleados para eliminar registros en conflicto con “CoordinateCleaner” (Zizka *et al.*, 2019) y Cobos *et al.* (2018) se obtuvieron 41,801 registros y finalmente con el adelgazamiento espacial (spThin) para calibrar los registros se emplearon un total de 9,060 para la elaboración de los modelos finales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Registros utilizados para el modelado.

Especie	Trabajo de campo	GBIF	Limpios	Calibrados (10 km ²)
<i>Abies guatemalensis</i>	2	949	162	82
<i>A. hidalgensis</i>	6	17	23	0
<i>A. religiosa</i>	4	598	506	147
<i>Hesperocyparis benthamii</i>	5	450	280	104
<i>H. lusitanica</i>	3	3,228	1,324	467
<i>Juniperus angosturana</i>		167	97	51

<i>J. deppeana</i>	3	7,465	1,930	685
<i>J. flaccida</i>	2	1,921	999	372
<i>J. monticola</i>	1	689	312	74
<i>Pinus ayacahuite</i>	4	536	269	124
<i>P. cembroides</i>		2,241	935	373
<i>P. devoniana</i>		801	419	238
<i>P. greggii</i>	1	533	279	72
<i>P. hartwegii</i>	2	1,374	527	173
<i>P. leiophylla</i>		3,398	1,215	460
<i>P. montezumae</i>	4	1,018	465	201
<i>P. oocarpa</i>	1	1,556	880	434
<i>P. patula</i>	7	772	504	145
<i>P. pinceana</i>		700	274	69
<i>P. pseudostrobus</i>	4	2,496	1,130	409
<i>P. teocote</i>	5	1,178	781	345
<i>Podocarpus matudae</i>	3	586	378	116
<i>Pseudotsuga menziesii</i>		43,659	26,420	3,289
<i>Taxodium huegelii</i>	1	2,976	2,668	576
<i>Taxus globosa</i>	2	375	154	54
Total	60	79,683	41,801	9,060

GBIF: Global Biodiversity Information Facility

Selección de variables ambientales

Las Variables no correlacionadas usadas para el modelado individual de las especies se muestran en el Cuadro 4. *A. hidalgensis* es el taxón con menos variables usadas (3) y *P. menziesii* el que más variables requirió para el modelado (11) debido a los rangos de distribución, reducida y amplia a nivel global respectivamente. Las variables bio1 (Temperatura media anual) y bio2 (Rango de

temperatura media diurna) se utilizaron para las 25 especies, seguidas por la bio3 (Isotermalidad) en 24 especies, la especie en la que no se incluyó esta última variable fue *A. hidalgensis*, para esta especie la bio15 (estacionalidad de la precipitación) fue la tercera variable seleccionada.

Cuadro 4. Conjunto de variables seleccionadas para el modelado de cada especie.

Especie	Conjunto de variables
<i>Abies guatemalensis</i>	bio1, bio2, bio3, bio12, bio14, bio19
<i>A. hidalgensis</i>	bio1, bio2, bio15
<i>A. religiosa</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio15
<i>Hesperocyparis benthamii</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio15, bio18
<i>H. lusitanica</i>	bio1, bio2, bio3, bio12, bio14, bio15, bio18, bio19
<i>Juniperus angosturana</i>	bio1, bio2, bio3, bio7, bio12, bio14, bio15
<i>J. deppeana</i>	bio1, bio2, bio3, bio5, bio8, bio9, bio12, bio14, bio15, bio19
<i>J. flaccida</i>	bio1, bio2, bio3, bio7, bio12, bio14, bio15, bio18, bio19
<i>J. monticola</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio15, bio18
<i>Pinus ayacahuite</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio15, bio19
<i>P. cembroides</i>	bio1, bio2, bio3, bio5, bio9, bio12, bio14, bio15, bio19
<i>P. devoniana</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio15, bio18, bio19
<i>P. greggii</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio15
<i>P. hartwegii</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio15
<i>P. leiophylla</i>	bio1, bio2, bio3, bio5, bio12, bio14, bio15, bio18, bio19
<i>P. montezumae</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio15, bio19
<i>P. oocarpa</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio18
<i>P. patula</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio12, bio14, bio15
<i>P. pinceana</i>	bio1, bio2, bio3, bio6, bio15
<i>P. pseudostrobus</i>	bio1, bio2, bio3, bio12, bio14, bio15
<i>P. teocote</i>	bio1, bio2, bio3, bio12, bio14, bio15, bio18

<i>Podocarpus matudae</i>	bio1, bio2, bio3, bio12, bio14, bio18
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	bio1, bio2, bio3, bio4, bio5, bio8, bio9, bio12, bio14, bio15, bio18
<i>Taxodium huegelii</i>	bio1, bio2, bio3, bio7, bio12, bio14, bio15, bio18
<i>Taxus globosa</i>	bio1, bio2, bio3, bio12, bio15

En orden de importancia las variables bio1 (temperatura media anual), bio12 (precipitación anual) y bio15 (estacionalidad de la precipitación) son las que mayor porcentaje de contribución aportan para la modelación de la mayoría de las especies; sin embargo, la bio1 fue la más importante en 17 especies como se aprecia en el Cuadro 5; sin embargo, cabe destacar que existe un contraste entre las especies de climas húmedos y secos con la variable bio1, ya que esta variable tiene mayor importancia de contribución para las especies que se distribuyen en sitios húmedos, subtropicales a templado cálidos como *P. patula* (Farjon y Styles, 1997) y menor importancia para especies de sitios secos como *J. deppeana*. Para esta última especie la variable más importante es la bio5 que representa la Temperatura máxima del mes más cálido lo cual es consistente con lo reportado por Farjon (2017), quien indica que la especie prefiere zonas en montañas semiáridas y más áridas.

Cuadro 5. Tres de las variables más importantes usadas para el modelamiento por especie y su porcentaje de contribución.

Especie	Variable	(%)	Variable	(%)	Variable	(%)
<i>A. guatemalensis</i>	bio1	71	bio2	29	bio3	11
<i>A. hidalgensis</i>	bio1	73	bio2	39	bio15	57
<i>A. religiosa</i>	bio1	39	bio2	04	bio4	38
<i>H. benthamii</i>	bio1	61	bio4	27	bio15	28
<i>H. lusitanica</i>	bio1	47	bio3	19	bio15	19
<i>J. angosturana</i>	bio1	15	bio2	13	bio3	27
<i>J. deppeana</i>	bio1	14	bio5	29	bio15	16
<i>J. flaccida</i>	bio1	30	bio3	16	bio12	21
<i>J. monticola</i>	bio1	40	bio3	21	bio12	31
<i>P. ayacahuite</i>	bio1	81	bio4	21	bio12	13
<i>P. cembroides</i>	bio1	17	bio5	88	bio12	21
<i>P. devoniana</i>	bio1	32	bio4	67	bio12	11
<i>P. greggii</i>	bio1	51	bio2	40	bio4	22
<i>P. hartwegii</i>	bio1	65	bio4	39	bio15	15
<i>P. leiophylla</i>	bio1	51	bio12	18	bio15	10
<i>P. montezumae</i>	bio1	67	bio2	25	bio4	22
<i>P. oocarpa</i>	bio1	43	bio4	50	bio12	60
<i>P. patula</i>	bio1	60	bio12	14	bio15	16
<i>P. pinceana</i>	bio3	52	bio6	24	bio15	43
<i>P. pseudostrobus</i>	bio1	59	bio2	33	bio12	11
<i>P. teocote</i>	bio1	68	bio3	12	bio12	21
<i>P. matudae</i>	bio1	57	bio3	15	bio12	72

<i>P. menziesii</i>	bio1	16	bio4	14	bio12	09
<i>T. huegelii</i>	bio7	38	bio12	23	bio15	35
<i>T. globosa</i>	bio1	77	bio3	16	bio12	21

De acuerdo a los mapas de distribución potencial, *P. menziesii* es la especie de mayor distribución potencial a nivel global con 2,594,279 km² y a nivel estatal con 197.6 km² (Cuadro 6), distribuyéndose al noroeste, noreste y centro sur de México; en Estados Unidos de América al oeste principalmente y al suroeste de Canadá (Figura 27b) y en el estado de Hidalgo principalmente al sureste (Figura 27c), mientras que *A. hidalgensis* es la especie con menor área de distribución potencial con 1,206 km² a nivel global y a nivel estatal con 197.6 km² (Cuadro 6), ubicándose nivel global al este de México (Figura 6b) y en Hidalgo también al este del estado (Figura 6c).

Cuadro 6. Superficie potencial global predicha y escenarios de cambio climático proyectados para el periodo 2041-2070.

Especie	Modelos_Escenarios	Presente (km ²)	Pérdida (km ²)	Sin cambios (km ²)	Ganancia (km ²)	Pérdida (%)	Ganancia (%)	Cambio de hábitat adecuado (%)
<i>A. guatemalensis</i>	GFDL-ESM4_SSP370	183,116	88,999	94,117	14,708	48.60	8.03	-40.57
	GFDL-ESM4_SSP585	183,116	78,643	104,473	15373	42.95	8.40	-34.55
	UKESM1-0-LL_SSP370	183,116	116,734	66,382	734	63.75	0.40	-63.35
	UKESM1-0-LL_SSP585	183,116	98,600	84,516	14,816	53.80	8.10	-45.80
	Promedio		95,744	87,372	11,408	52.28	6.23	-46.07
<i>A. hidalgensis</i>	GFDL-ESM4_SSP370	1,206	1,202	4	162	99.67	13.43	-86.24
	GFDL-ESM4_SSP585	1,206	1,206	0	90	100.00	7.46	-92.54
	UKESM1-0-LL_SSP370	1,206	1,206	0	182	100.00	15.09	-84.91
	UKESM1-0-LL_SSP585	1,206	1,205	1	174	99.90	14.40	-85.50
	Promedio		1,205	1	152	99.89	12.60	-87.30
	GFDL-ESM4_SSP370	162,571	78,898	83,673	4,241	48.53	2.61	-45.92
	GFDL-ESM4_SSP585	162,571	75,357	87,214	4,430	46.35	2.73	-43.63

<i>A. religiosa</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	162,571	88,283	74,288	767	54.30	0.47	-53.83
	UKESM1-0-LL_SSP585	162,571	78,467	84,104	3,772	48.30	2.30	-45.90
	Promedio		80,251	82,320	3,303	49.37	2.03	-47.32
<i>H. benthamii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	259,611	93,642	165,969	32,736	36.07	12.61	-23.46
	GFDL-ESM4_SSP585	259,611	113,168	146,443	14,836	43.59	5.72	-37.88
	UKESM1-0-LL_SSP370	259,611	128,808	130,803	3,191	49.62	1.23	-48.39
	UKESM1-0-LL_SSP585	259,611	155,349	104,262	2,791	59.84	1.08	-58.76
	Promedio		122,742	136,869	13,389	47.28	5.16	-42.12
<i>H. lusitanica</i>	GFDL-ESM4_SSP370	474,050	204,769	269,281	571	43.20	0.12	-43.08
	GFDL-ESM4_SSP585	474,050	194,041	280,009	1,012	40.93	0.21	-40.72
	UKESM1-0-LL_SSP370	474,050	249,172	224,878	2,962	52.56	0.63	-51.94
	UKESM1-0-LL_SSP585	474,050	249,496	224,554	2,028	52.63	0.43	-52.20
	Promedio		224,370	249,681	1,643	47.33	0.35	-46.99
	GFDL-ESM4_SSP370	87,783	57,634	30,149	11,204	65.66	12.76	-52.89

	GFDL-ESM4_SSP585	87,783	44,063	43,720	5,898	50.20	6.72	-43.48
<i>J. angosturana</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	87,783	43,323	44,460	9,950	49.35	11.34	-38.02
	UKESM1-0-LL_SSP585	87,783	27,562	60,221	24,333	31.40	27.72	-3.68
	Promedio		43,146	44,638	12,846	49.15	14.64	-34.52
	GFDL-ESM4_SSP370	737,004	315,288	421,716	4,607	42.78	0.63	-42.16
<i>J. deppeana</i>	GFDL-ESM4_SSP585	737,004	338,400	398,604	4,157	45.92	0.56	-45.35
	UKESM1-0-LL_SSP370	737,004	410,799	326,205	19,681	55.74	2.67	-53.07
	UKESM1-0-LL_SSP585	737,004	421,903	315,101	13,739	57.25	1.86	-55.38
	Promedio		371,598	365,407	10,546	50.42	1.43	-48.99
	GFDL-ESM4_SSP370	415,056	154,174	260,882	7,946	37.15	1.91	-35.23
<i>J. flaccida</i>	GFDL-ESM4_SSP585	415,056	162,040	253,016	10,416	39.04	2.51	-36.53
	UKESM1-0-LL_SSP370	415,056	138,444	276,612	28,674	33.36	6.91	-26.45
	UKESM1-0-LL_SSP585	415,056	148,983	266,073	62,299	35.90	15.01	-20.89
	Promedio		150,910	264,146	27,334	36.36	6.59	-29.78

<i>J. monticola</i>	GFDL-ESM4_SSP370	131,254	58,556	72,698	5,465	44.61	4.16	-40.45
	GFDL-ESM4_SSP585	131,254	47,688	83,566	8,828	36.33	6.73	-29.61
	UKESM1-0-LL_SSP370	131,254	67,416	63,838	295	51.36	0.23	-51.14
	UKESM1-0-LL_SSP585	131,254	56,982	74,272	2,518	43.41	1.92	-41.50
	Promedio		57,661	73,594	4,277	43.93	3.26	-40.68
<i>P. ayacahuite</i>	GFDL-ESM4_SSP370	175,388	99,913	75,475	349	56.97	0.20	-56.77
	GFDL-ESM4_SSP585	175,388	101,371	74,017	47	57.80	0.03	-57.77
	UKESM1-0-LL_SSP370	175,388	112,454	62,934	15	64.12	0.01	-64.11
	UKESM1-0-LL_SSP585	175,388	118,874	56,514	4	67.78	0.00	-67.78
	Promedio		108,153	67,235	104	61.67	0.06	-61.61
<i>P. cembroides</i>	GFDL-ESM4_SSP370	547,029	236,348	310,681	8,252	43.21	1.51	-41.70
	GFDL-ESM4_SSP585	547,029	234,842	312,187	9,807	42.93	1.79	-41.14
	UKESM1-0-LL_SSP370	547,029	362,976	184,053	736	66.35	0.14	-66.22
	UKESM1-0-LL_SSP585	547,029	353,282	193,747	655	64.58	0.12	-64.46

	Promedio		296,862	250,167	4,863	54.27	0.89	-53.38
<i>P. devoniana</i>	GFDL-ESM4_SSP370	381,775	147,417	234,358	2,409	38.61	0.63	-37.98
	GFDL-ESM4_SSP585	381,775	165,536	216,239	3,300	43.36	0.86	-42.50
	UKESM1-0-LL_SSP370	381,775	138,229	243,546	12,577	36.21	3.29	-32.91
	UKESM1-0-LL_SSP585	381,775	156,605	225,170	14,564	41.02	3.82	-37.21
	Promedio		151,947	229,828	8,213	39.80	2.15	-37.65
<i>P. greggii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	110,901	66,533	44,368	5,179	59.99	4.67	-55.32
	GFDL-ESM4_SSP585	110,901	61,353	49,548	4,803	55.32	4.33	-50.99
	UKESM1-0-LL_SSP370	110,901	66,073	44,828	2,085	59.58	1.88	-57.70
	UKESM1-0-LL_SSP585	110,901	57,631	53,270	7,550	51.97	6.81	-45.16
	Promedio		62,898	48,004	4,904	56.72	4.42	-52.29
<i>P. hartwegii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	325,580	127,266	198,314	23,776	39.09	7.30	-31.79
	GFDL-ESM4_SSP585	325,580	130,044	195,536	9,826	39.94	3.02	-36.92
	UKESM1-0-LL_SSP370	325,580	130,931	194,649	1,643	40.22	0.51	-39.71

	UKESM1-0-LL_SSP585	325,580	117,447	208,133	3,398	36.07	1.04	-35.03
	Promedio		126,422	199,158	9,661	38.83	2.97	-35.86
<i>P. leiophylla</i>	GFDL-ESM4_SSP370	426,057	179,257	246,800	3,292	42.07	0.77	-41.30
	GFDL-ESM4_SSP585	426,057	181,847	244,210	2,077	42.68	0.49	-42.19
	UKESM1-0-LL_SSP370	426,057	250,793	175,264	9,244	58.86	2.17	-56.69
	UKESM1-0-LL_SSP585	426,057	252,482	173,575	5,935	59.26	1.39	-57.87
	Promedio		216,095	209,962	5,137	50.72	1.21	-49.51
	GFDL-ESM4_SSP370	249,979	130,925	119,054	1,774	52.37	0.71	-51.67
<i>P. montezumae</i>	GFDL-ESM4_SSP585	249,979	128,913	121,066	1,364	51.57	0.55	-51.02
	UKESM1-0-LL_SSP370	249,979	117,818	132,161	6,394	47.13	2.56	-44.57
	UKESM1-0-LL_SSP585	249,979	121,713	128,266	10,082	48.69	4.03	-44.66
	Promedio		124,842	125,137	4,904	49.94	1.96	-47.98
	GFDL-ESM4_SSP370	401,721	179,271	222,450	11,913	44.63	2.97	-41.66
	GFDL-ESM4_SSP585	401,721	191,328	210,393	8,661	47.63	2.16	-45.47

<i>P. oocarpa</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	401,721	168,138	233,583	65,021	41.85	16.19	-25.67
	UKESM1-0-LL_SSP585	401,721	211,240	190,481	68,056	52.58	16.94	-35.64
	Promedio		187,494	214,227	38,413	46.67	9.57	-37.11
<i>P. patula</i>	GFDL-ESM4_SSP370	148,716	80,476	68,240	1,422	54.11	0.96	-53.16
	GFDL-ESM4_SSP585	148,716	89,956	58,760	368	60.49	0.25	-60.24
	UKESM1-0-LL_SSP370	148,716	76,579	72,137	864	51.49	0.58	-50.91
	UKESM1-0-LL_SSP585	148,716	95,554	53,162	1,773	64.25	1.19	-63.06
	Promedio		85,641	63,075	1,107	57.59	0.75	-56.84
<i>P. pinceana</i>	GFDL-ESM4_SSP370	129,712	75,865	53,847	22,812	58.49	17.59	-40.90
	GFDL-ESM4_SSP585	129,712	81,189	48,523	20,500	62.59	15.80	-46.79
	UKESM1-0-LL_SSP370	129,712	77,858	51,854	6,410	60.02	4.94	-55.08
	UKESM1-0-LL_SSP585	129,712	85,250	44,462	12,552	65.72	9.68	-56.05
	Promedio		80,041	49,672	15,569	61.71	12.00	-49.71
	GFDL-ESM4_SSP370	269,663	141,846	127,817	913	52.60	0.34	-52.26

	GFDL-ESM4_SSP585	269,663	133,697	135,966	902	49.58	0.33	-49.25
<i>P. pseudostrabus</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	269,663	128,904	140,759	7,861	47.80	2.92	-44.89
	UKESM1-0-LL_SSP585	269,663	135,205	134,458	15,489	50.14	5.74	-44.40
	Promedio		134,913	134,750	6,291	50.03	2.33	-47.70
	GFDL-ESM4_SSP370	328,498	138,580	189,918	632	42.19	0.19	-41.99
<i>P. teocote</i>	GFDL-ESM4_SSP585	328,498	182,334	156,546	3,284	53.81	0.97	-52.84
	UKESM1-0-LL_SSP370	328,498	166,662	161,836	1,600	50.74	0.49	-50.25
	UKESM1-0-LL_SSP585	328,498	182,334	156,546	3,284	53.81	0.97	-52.84
	Promedio		167,478	166,212	2,200	50.14	0.66	-49.48
	GFDL-ESM4_SSP370	268,199	131,907	136,292	5,948	49.18	2.22	-46.97
<i>P. matudae</i>	GFDL-ESM4_SSP585	268,199	152,722	115,477	5,612	56.94	2.09	-54.85
	UKESM1-0-LL_SSP370	268,199	128,210	139,989	101,607	47.80	37.89	-9.92
	UKESM1-0-LL_SSP585	268,199	172,694	95,505	117,669	64.39	43.87	-20.52
	Promedio		146,383	121,816	57,709	54.58	21.52	-33.07

<i>P. menziesii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	2,594,279	678,759	1,915,520	101,071	26.16	3.90	-22.27
	GFDL-ESM4_SSP585	2,594,279	606,048	1,988,231	133,636	23.36	5.15	-18.21
	UKESM1-0-LL_SSP370	2,594,279	1,276,162	1,318,117	66,441	49.19	2.56	-46.63
	UKESM1-0-LL_SSP585	2,594,279	1,294,922	1,299,357	83,595	49.92	3.22	-46.69
	Promedio		963,973	1,630,306	96,186	37.16	3.71	-33.45
<i>T. huegelii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	448,101	107,350	340,751	87,294	23.96	19.48	-4.48
	GFDL-ESM4_SSP585	448,101	101,889	346,212	133,737	22.74	29.85	7.11
	UKESM1-0-LL_SSP370	448,101	136,883	311,218	179,176	30.55	39.99	9.44
	UKESM1-0-LL_SSP585	448,101	150,695	297,406	220,233	33.63	49.15	15.52
	Promedio		124,204	323,897	155,110	27.72	34.62	6.90
<i>T. globosa</i>	GFDL-ESM4_SSP370	115,456	59,757	55,699	1,178	51.76	1.02	-50.74
	GFDL-ESM4_SSP585	115,456	71,847	43,609	286	62.23	0.25	-61.98
	UKESM1-0-LL_SSP370	115,456	58,550	56,906	6,140	50.71	5.32	-45.39
	UKESM1-0-LL_SSP585	115,456	72,442	43,014	4,132	62.74	3.58	-59.17

Promedio	65,649	49,807	2,934	56.86	2.54	-54.32
----------	---------------	---------------	--------------	--------------	-------------	---------------

GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), ESM4 (Earth System Model, version 4), UKESM (U.K. Earth System Model), SSP (Shared Socioeconomic Pathways).

Cuadro 7. Superficie de distribución potencial para Hidalgo con los escenarios de cambio climático proyectados para el periodo 2041-2070.

Especie	Modelos_Escenarios	Presente (km ²)	Pérdida (km ²)	Sin cambios (km ²)	Ganancia (km ²)	Pérdida (%)	Ganancia (%)	Cambio de hábitat adecuado (%)
<i>A. guatemalensis</i>	GFDL-ESM4_SSP370	5,912.8	4,074.4	1,838.4	0	68.91	0.00	-68.91
	GFDL-ESM4_SSP585	5,912.8	3,675.2	2,237.6	0	62.16	0.00	-62.16
	UKESM1-0-LL_SSP370	5,912.8	4,382.4	4,382.4	0	74.12	0.00	-74.12
	UKESM1-0-LL_SSP585	5,912.8	3,329.6	2,583.2	0	56.31	00.0	-56.31
	Promedio		3,865	2,760	0	65.38	0.00	-65.38
<i>A. hidalgensis</i>	GFDL-ESM4_SSP370	197.6	197.6	0	0	100	0.00	-100
	GFDL-ESM4_SSP585	197.6	197.6	0	0	100	0.00	-100
	UKESM1-0-LL_SSP370	197.6	197.6	0	0	100	0.00	-100
	UKESM1-0-LL_SSP585	197.6	196.8	0.8	4	99.59	2.02	-97.57
	Promedio		197.4	0.2	1	99.90	0.51	-99.39
	GFDL-ESM4_SSP370	13,767.2	8,866.4	4,900.8	0	64.40	0.00	-64.40
	GFDL-ESM4_SSP585	13,767.2	7,477.6	6,289.6	70.4	54.31	0.51	-53.8

<i>A. religiosa</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	13,767.2	9,043.2	4,724	0	65.69	0.00	-65.69
	UKESM1-0-LL_SSP585	13,767.2	5,112.8	8,654.4	512.8	37.14	3.72	-33.42
	Promedio		7,625	6,142	146	55.39	1.06	-54.33
<i>H. benthamii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	17,036	4,049.6	12,986.4	0	23.77	0.00	-23.77
	GFDL-ESM4_SSP585	17,036	4,419.2	12,616.8	1.6	25.94	0.01	-25.93
	UKESM1-0-LL_SSP370	17,036	5,971.2	11,064.8	0	35.05	0.00	-35.05
	UKESM1-0-LL_SSP585	17,036	7,716	9,320	0	45.29	0.00	-45.29
	Promedio		5,539	11,497	0	32.51	0.00	-32.51
	GFDL-ESM4_SSP370	15,074.4	6,687.2	8,387.2	212	44.36	1.41	-43.22
	GFDL-ESM4_SSP585	15,074.4	4,282.4	10,792	420.8	28.41	2.79	-25.62
<i>H. lusitanica</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	15,074.4	6,844.8	8,229.6	0	45.41	0.00	-45.41
	UKESM1-0-LL_SSP585	15,074.4	6,983.2	8,091.2	0	46.32	0.00	-46.32
	Promedio		6,199.40	8,875.00	158.20	41.13	1.05	-40.14
	GFDL-ESM4_SSP370	9,141.6	3,908.8	5,232.8	2,009.6	42.76	21.98	-20.78

<i>J. angosturana</i>	GFDL-ESM4_SSP585	9,141.6	3,719.2	5,422.4	1,132.8	40.68	12.39	-28.29
	UKESM1-0-LL_SSP370	9,141.6	2,492	6,649.6	1,590.4	27.26	17.40	-9.86
	UKESM1-0-LL_SSP585	9,141.6	2,833.6	6,308	694.4	31.00	7.60	-23.4
	Promedio		3,238.40	5,903.20	1,356.80	35.43	14.84	-20.58
<i>J. deppeana</i>	GFDL-ESM4_SSP370	12,536	5,866.4	6,669.6	0	46.80	0.00	-46.80
	GFDL-ESM4_SSP585	12,536	5,158.4	7,377.6	0	41.14	0.00	-58.85
	UKESM1-0-LL_SSP370	12,536	8,029.6	4,506.4	0	64.05	0.00	-64.05
	UKESM1-0-LL_SSP585	12,536	7,636	4,900	0	60.91	0.00	-60.91
Promedio		6,672.60	5,863.40	0.00	53.23	0.00	-57.65	
<i>J. flaccida</i>	GFDL-ESM4_SSP370	17,749.6	1,574.4	16,175.2	168.8	8.87	0.95	-7.92
	GFDL-ESM4_SSP585	17,749.6	2,629.6	15,120	221.6	14.81	1.25	-13.56
	UKESM1-0-LL_SSP370	17,749.6	1,780.8	15,968.8	0	10.03	0.00	-10.03
	UKESM1-0-LL_SSP585	17,749.6	1,820.8	15,928.8	0	10.26	0.00	-10.26
Promedio		1,951.40	15,798.20	97.60	10.99	0.55	-10.44	

<i>J. monticola</i>	GFDL-ESM4_SSP370	6,520.8	3,812	2,708.8	47.2	58.46	0.72	-57.74
	GFDL-ESM4_SSP585	6,520.8	1,772.8	4,748	898.4	27.18	13.78	-13.4
	UKESM1-0-LL_SSP370	6,520.8	4,609.6	1,911.2	0	70.69	0.00	-70.69
	UKESM1-0-LL_SSP585	6,520.8	2,499.2	4,021.6	14.4	38.33	0.22	-38.11
	Promedio		3,173	3,347	240	48.67	3.68	-44.99
<i>P. ayacahuite</i>	GFDL-ESM4_SSP370	7,225.6	5,484	1,741.6	0	75.90	0.00	-75.90
	GFDL-ESM4_SSP585	7,225.6	5,594.4	1,631.2	0	77.42	0.00	-77.42
	UKESM1-0-LL_SSP370	7,225.6	5,626.4	1,599.2	0	77.87	0.00	-77.87
	UKESM1-0-LL_SSP585	7,225.6	5,690.4	1,535.2	0	78.75	0.00	-78.75
	Promedio		5,599	1,627	0	77.49	0.00	-77.49
<i>P. cembroides</i>	GFDL-ESM4_SSP370	15,694.4	4,567.2	11,127.2	10.4	29.10	0.07	-29.03
	GFDL-ESM4_SSP585	15,694.4	5,996.8	9,697.6	2.4	38.21	0.02	-38.19
	UKESM1-0-LL_SSP370	15,694.4	6,743.2	8,951.2	0	42.97	0.00	-42.97
	UKESM1-0-LL_SSP585	15,694.4	6,314.4	9,380	0	40.23	0.00	-40.23

	Promedio		5,905.40	9,789.00	3.20	37.63	0.02	-37.61
<i>P. devoniana</i>	GFDL-ESM4_SSP370	7,895.2	3,407.2	4,488	141.6	43.15	1.79	-41.33
	GFDL-ESM4_SSP585	7,895.2	4,884.8	3,010.4	196	61.87	2.48	-59.39
	UKESM1-0-LL_SSP370	7,895.2	2,533.6	5,361.6	570.4	32.09	7.22	-24.87
	UKESM1-0-LL_SSP585	7,895.2	2,742.4	5,152.8	106.4	34.74	1.35	-33.39
	Promedio		3,392.00	4,503.20	253.60	42.96	3.21	-39.74
<i>P. greggii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	12,737.6	5,420.8	7,316.8	27.2	42.56	0.21	-42.35
	GFDL-ESM4_SSP585	12,737.6	4,860	7,877.6	136	38.15	1.07	-37.08
	UKESM1-0-LL_SSP370	12,737.6	7,219.2	5,518.4	23.2	56.68	0.18	-56.5
	UKESM1-0-LL_SSP585	12,737.6	7,410.4	5,327.2	5.6	58.18	0.04	-58.14
	Promedio		6,227.60	6,510.00	48.00	48.89	0.38	-48.52
<i>P. hartwegii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	15,832	1,616	14,216	0	10.21	0.00	-10.21
	GFDL-ESM4_SSP585	15,832	2,096	13,736	0	13.24	0.00	-13.24
	UKESM1-0-LL_SSP370	15,832	2,700.8	13,131.2	0	17.06	0.00	-17.06

	UKESM1-0-LL_SSP585	15,832	2,136.8	13,695.2	0	13.50	0.00	-13.50
	Promedio		2,137.40	13,694.60	0	13.50	0.00	-13.50
<i>P. leiophylla</i>	GFDL-ESM4_SSP370	4,640	3,296	1,344	0	71.03	0.00	-71.03
	GFDL-ESM4_SSP585	4,640	2,704.8	1,935.2	2.4	58.29	0.05	-58.24
	UKESM1-0-LL_SSP370	4,640	3,809.6	830.4	0	82.10	0.00	-82.10
	UKESM1-0-LL_SSP585	4,640	3,855.2	784.8	0	83.09	0.00	-83.09
	Promedio		3,416.40	1,223.60	0.60	73.63	0.01	-73.62
	GFDL-ESM4_SSP370	14,795.2	7,588.8	7,206.4	0	51.29	0.00	-51.29
<i>P. montezumae</i>	GFDL-ESM4_SSP585	14,795.2	8,291.2	6,504	0	56.04	0.00	-56.04
	UKESM1-0-LL_SSP370	14,795.2	7,379.2	7,416	0	49.88	0.00	-49.88
	UKESM1-0-LL_SSP585	14,795.2	6,786.4	8,008.8	0	45.87	0.00	-45.87
	Promedio		7,511.40	7,283.80	0	50.77	0.00	-50.77
	GFDL-ESM4_SSP370	3,781.6	1,292.8	2,488.8	70.4	34.19	1.86	-32.33
	GFDL-ESM4_SSP585	3,781.6	1,876	1,905.6	1.6	49.61	0.04	-49.57

<i>P. oocarpa</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	3,781.6	1,269.6	2,512	197.6	33.57	5.23	-28.34
	UKESM1-0-LL_SSP585	3,781.6	1,656.8	2,124.8	200.8	43.81	5.31	-38.5
	Promedio		1,523.80	2,257.80	117.60	40.30	3.11	-37.19
<i>P. patula</i>	GFDL-ESM4_SSP370	9,617.6	5,609.6	4,008	0	58.33	0.00	-58.33
	GFDL-ESM4_SSP585	9,617.6	5,919.2	3,698.4	0	61.55	0.00	-61.55
	UKESM1-0-LL_SSP370	9,617.6	4,980.8	4,636.8	0	51.79	0.00	-51.79
	UKESM1-0-LL_SSP585	9,617.6	5,111.2	4,506.4	0	53.14	0.00	-53.14
	Promedio		5,405.20	4,212.40	0	56.20	0.00	-56.20
	GFDL-ESM4_SSP370	2,481.6	1,108.8	1,372.8	1,252	44.68	50.45	5.77
<i>P. pinceana</i>	GFDL-ESM4_SSP585	2,481.6	2,365.6	116	313.6	95.33	12.64	-82.69
	UKESM1-0-LL_SSP370	2,481.6	1,502.4	979.2	441.6	60.54	17.79	-42.75
	UKESM1-0-LL_SSP585	2,481.6	2,273.6	208	29.6	91.62	1.19	-90.43
	Promedio		1,812.60	669.00	509.20	73.04	20.52	-52.53
	GFDL-ESM4_SSP370	11,274.4	5,237.6	6,036.8	0	46.46	0.00	-46.46

	GFDL-ESM4_SSP585	11,274.4	5,444.8	5,829.6	0	48.29	0.00	-48.29
<i>P. pseudostrabus</i>	UKESM1-0-LL_SSP370	11,274.4	5,387.2	5,887.2	0	47.78	0.00	-47.78
	UKESM1-0-LL_SSP585	11,274.4	4,920	6,354.4	0	43.64	0.00	-43.64
	Promedio		5,247.40	6,027.00	0	46.54	0.00	-46.54
	GFDL-ESM4_SSP370	13,596.8	4,245.6	9,351.2	40.8	31.22	0.30	-30.92
<i>P. teocote</i>	GFDL-ESM4_SSP585	13,596.8	4,446.4	9,150.4	66.4	32.70	0.49	-32.21
	UKESM1-0-LL_SSP370	13,596.8	5,172.8	8,424	0	38.04	0.00	-38.04
	UKESM1-0-LL_SSP585	13,596.8	4,230.4	9,772	2.4	31.11	0.02	-31.09
	Promedio		4,523.80	9,174.40	27.40	33.27	0.20	-33.07
	GFDL-ESM4_SSP370	5,924	1,836.8	4,087.2	8.8	31.00	0.15	-30.85
<i>P. matudae</i>	GFDL-ESM4_SSP585	5,924	2,312	3,612	0	39.02	0.00	-39.02
	UKESM1-0-LL_SSP370	5,924	2,521.6	3,402.4	93.6	42.57	1.58	-40.99
	UKESM1-0-LL_SSP585	5,924	2,944.8	2,979.2	19.2	49.71	0.32	-49.39
	Promedio		2,403.80	3,520.20	30.40	40.58	0.51	-40.06

<i>P. menziesii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	5,018.4	3,053.6	1,964.8	0	60.85	0.00	-60.85
	GFDL-ESM4_SSP585	5,018.4	3,312	1,706.4	0	66.00	0.00	-66.00
	UKESM1-0-LL_SSP370	5,018.4	4,478.4	540	0	89.24	0.00	-89.24
	UKESM1-0-LL_SSP585	5,018.4	4,819.2	199.2	0	96.03	0.00	-96.03
	Promedio		3,915.80	1,102.60	0	78.03	0.00	-78.03
<i>T. huegelii</i>	GFDL-ESM4_SSP370	14,168	3,139.2	11,028.8	3,300.8	22.16	23.29	1.13
	GFDL-ESM4_SSP585	14,168	429.6	13,738.4	5,403.2	3.03	38.13	35.1
	UKESM1-0-LL_SSP370	14,168	663.2	13,504.8	4,298.4	4.68	30.34	25.66
	UKESM1-0-LL_SSP585	14,168	928.8	13,239.2	3,552.8	6.56	25.08	18.52
	Promedio		1,290.20	12,877.80	4,138.80	9.11	29.21	20.10
<i>T. globosa</i>	GFDL-ESM4_SSP370	8,252	2,759.2	5,492.8	56	33.44	0.68	-32.76
	GFDL-ESM4_SSP585	8,252	4,184	4,068	0	50.70	0.00	-50.70
	UKESM1-0-LL_SSP370	8,252	3,861.6	4,390.4	112.8	46.80	1.37	-45.43
	UKESM1-0-LL_SSP585	8,252	4,376.8	3,875.2	0	53.04	0.00	-53.04

Promedio	3,795.40	4,456.60	42.20	46.00	0.51	-45.48
----------	-----------------	-----------------	--------------	--------------	-------------	---------------

GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), ESM4 (Earth System Model, version 4), UKESM (U.K. Earth System Model), SSP (Shared Socioeconomic Pathways).

Mapas de distribución potencial y escenarios de cambio climático

Abies guatemalensis

Seis variables fueron utilizadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que tuvo mayor contribución al modelo con 71%. El área M abarca los países de Belice, El Salvador, Guatemala, Honduras, México y Nicaragua (Figura 5a).

De acuerdo al mapa de distribución potencial la superficie potencial aproximada que ocupa a nivel global es de 183,116 km² y representa el 0.12% de la superficie terrestre, la cual cuenta con 148 millones de kilómetros cuadrados (Mohorte, 2018) y que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Cuadro 6, Figura 5b) localizada en El Salvador, Guatemala, Honduras, México y Nicaragua, en México abarca 14 estados de la República mexicana. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en siete ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al suroeste de Guatemala, sur y este de México y al oeste de Honduras y El Salvador. Martínez *et al.*, (2016) modelaron el nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación, el área de distribución potencial global coincide con lo reportado para la misma especie, sin embargo, en nuestro estudio el área de distribución potencial se extiende un poco más, abarcando Nicaragua y en la República mexicana en la Ciudad de México, Estado de México, Michoacán de Ocampo, Morelos, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas. Por otra parte, Cruz *et al.* (2016) en su estudio la proyección de la distribución potencial de la especie abarca un poco más de superficie para el estado de Michoacán que en este trabajo, no obstante, coinciden en que la mayor superficie de área idónea se encuentra al norte del estado y la menor en el sur.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 5e) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 78,643 km² (42.95%); además, predice mayor ganancia de idoneidad con 15,373 km² (8.40%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -34.55% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 3f) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 116,734 km² (63.75%); sin embargo, predice áreas idóneas con ganancia de 734 km² (0.40%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo con -63.35% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio negativo de hábitat adecuado de -46.07%. De acuerdo a las proyecciones generadas en esta investigación, las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen de mayor a menor

superficie en la parte centro, sur y noreste de México; al norte y sur de la distribución potencial de Guatemala y al norte de la distribución potencial de Honduras, El Salvador y Nicaragua. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie al sur de Honduras, noroeste de Nicaragua, este de El Salvador, este de México (al suroeste de Chiapas) y sureste de Guatemala, y coinciden con las ecorregiones de bosques secos de Centroamérica, bosques de pino-encino centroamericanos y bosques secos de la depresión de Chiapas.

A nivel estatal las condiciones idóneas que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) se predicen en 5,912.8 km², esto representa el 28.28% del estado, ya que este cuenta con una superficie territorial de 20,905.12 km² (INEGI, 2017) (Cuadro 7, Figura 5c). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, localizadas en nueve municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo UKESM1-0-LL_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 3,329.6 km² (56.31%) (Figura 5k) (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 5j) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 4,382.4 km² (74.12%); además, no se predicen áreas idóneas con ganancia en ningún escenario (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -65.38%. Las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al este y noreste, y coinciden en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques montanos de Veracruz y matorral de la Meseta Central. No se predicen áreas con ganancia de idoneidad para el estado.

La sensibilidad de esta especie al cambio climático ha sido estudiada en trabajos sobre reconstrucciones climáticas a partir de la dendrocronología (Aquino *et al.*, 2019), por esto, de acuerdo a los escenarios de cambio climático, será de suma importancia realizar estrategias de conservación para la especie, sobre todo por tratarse de una especie en peligro de extinción (Cuadro 1), estas podrían ser reforestando en las áreas que permanecen y practicar la migración asistida en aquellas áreas con ganancia de condiciones idóneas, que se verán principalmente en Centroamérica. La investigación continua será esencial para comprender mejor las dinámicas de esta especie y su respuesta a los cambios ambientales previstos.

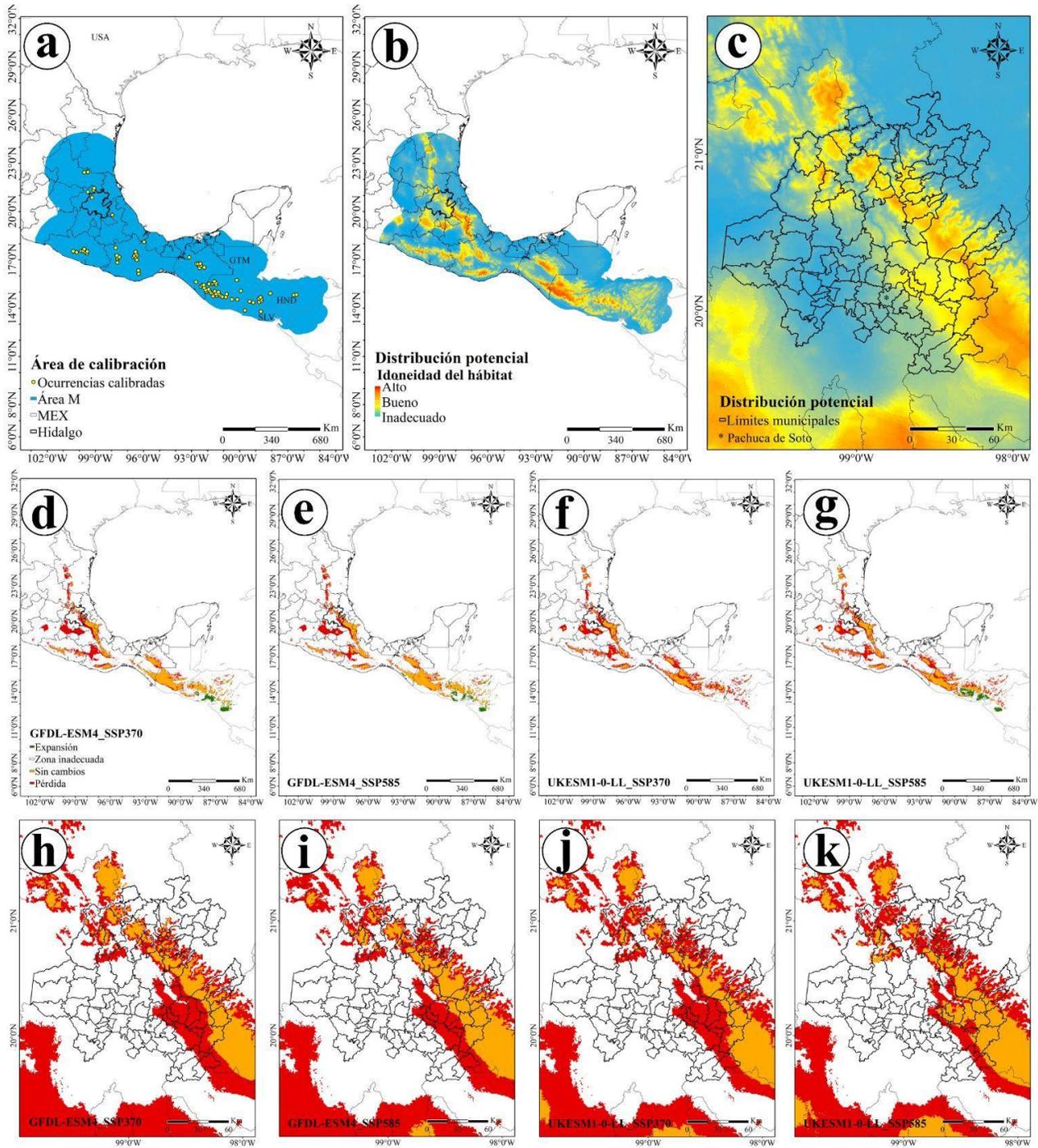


Figura 5. Área de calibración de *A. guatemalensis* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Abies hidalgensis

Para esta especie sólo se seleccionó un conjunto de tres variables (Cuadro 4), siendo la bio1 (Temperatura media anual) la variable que mayor contribuye al modelo con 73% respectivamente (Cuadro 5). El área M se localiza en la zona centro de México (Figura 6a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Cuadro 6, Figura 6b) es de 1,206 km², esto representa el 0.0008% de la superficie terrestre, localizada en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. En el trabajo de tesis de doctorado de Rosales (2023) también coincide en que la distribución potencial para esta especie se ubica principalmente en dichos estados. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se localizan en cuatro ecorregiones (ANEXO 3) hacia el este de México.

Las proyecciones futuras a nivel mundial del modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 6d) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 1,202 km² (99.67%), además, predice una ganancia de hábitat idóneo con 162 km² (13.43%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -86.24%. Los modelos GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 6e) y UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 6f) predicen una pérdida total del hábitat idóneo, sin embargo, predicen una ganancia de 90 km² (7.46%) y 182 km² (15.09%) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado de -92.54 y -84.91% en dichos modelos. En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del 87.30% a nivel global.

Este representa el primer trabajo sobre escenarios de cambio climático para esta especie.

De acuerdo al mapa de distribución potencial y los escenarios de cambio climático será viable practicar la migración asistida con la especie en las áreas con ganancia de condiciones idóneas localizadas en Puebla y Veracruz y para la conservación de la especie, considerando que es una especie que se encuentra como Vulnerable en la lista roja de la IUCN (Cuadro 1); además, se añade que las actividades antropogénicas han originado un declive en las restringidas poblaciones de la especie Rosales (2023).

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 6c) ocupa aproximadamente 197.6 km² (Cuadro 6) que representa apenas el 0.95% del territorio Hidalguense. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran en el sureste del estado donde coinciden de mayor a menor superficie con las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques montanos de

Veracruz y bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, ubicadas en cinco municipios del estado (ANEXO 2).

El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 6k) es el único que predice ganancia de hábitat idóneo para el estado de Hidalgo con 4 km² (2.02%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para este modelo con -97.57%, los demás modelos presentan pérdida total y nada de ganancia de hábitat idóneo. En promedio se estima un cambio negativo de hábitat adecuado del -99.39% a nivel estatal.

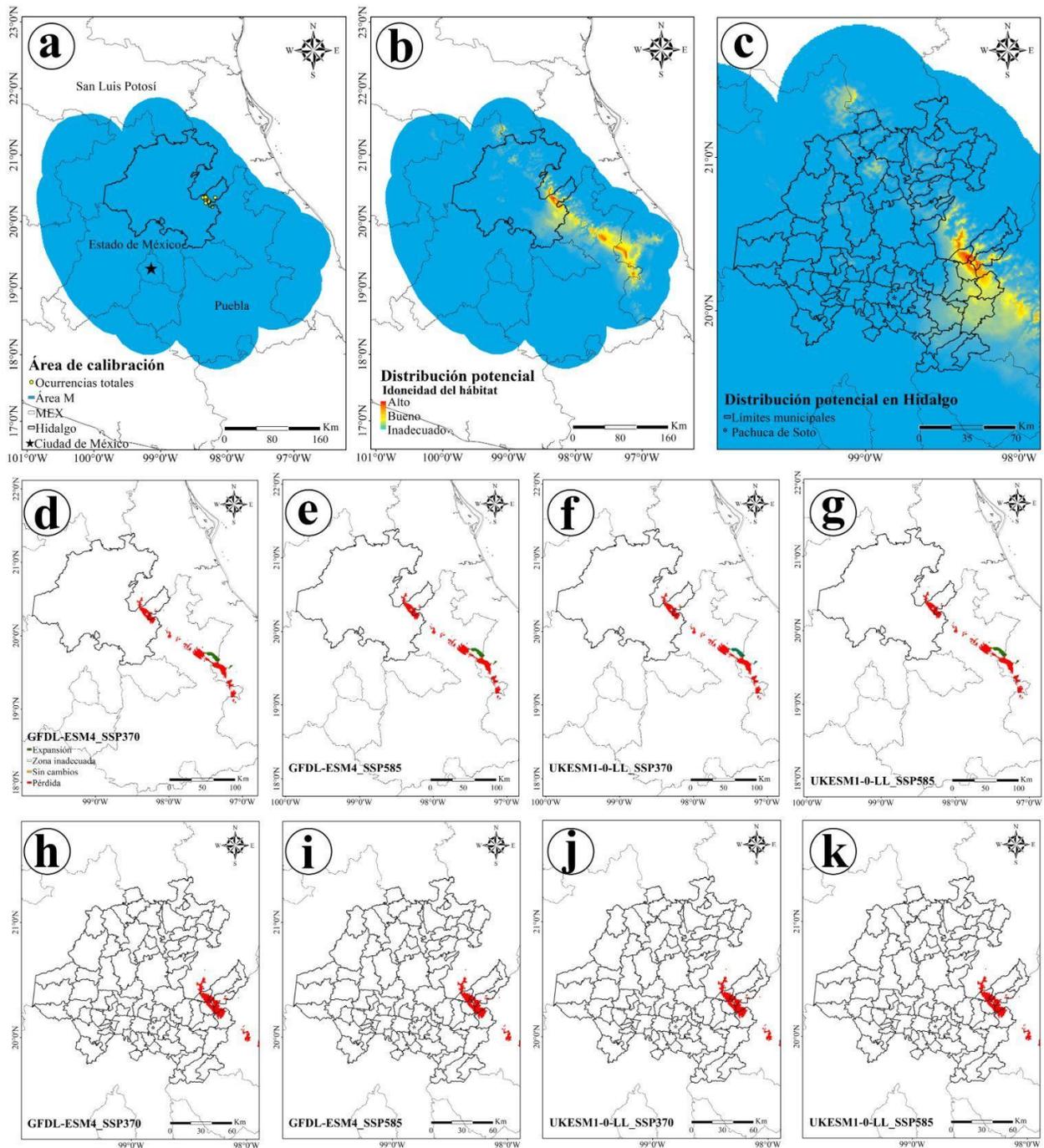


Figura 6. Área de calibración de *A. hidalgensis* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Abies religiosa

Se seleccionó un conjunto de seis variables climáticas (Cuadro 4). Las variables que mejor contribuyeron al modelo fueron la bio1 (Temperatura media anual) y bio4 (Estacionalidad de la temperatura) con 39% y 38% respectivamente (Cuadro 5). El área M para esta especie comprende la parte centro-sur de México.

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 7b) ocupa aproximadamente 162,571 km² (Cuadro 6) y representa casi el 0.11% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran principalmente en la zona centro de la república mexicana donde coinciden siete ecorregiones (ANEXO 3). Gómez (2011) evaluó patrones actuales y potenciales de 16 especies forestales impulsadas por escenarios de cambio climático en México y para *A. religiosa* obtuvo una superficie potencial situada en la república mexicana de 21.9E+6 ha que equivalen a 219,000 km² y representa el 11.4% de la superficie en el país, más superficie que en el presente trabajo ya que obtuvieron más condiciones idóneas en la parte oeste. También se añade a sus resultados que la tasa anual de la precipitación media, temperatura media anual y el período del trimestre más seco fueron las variables más importantes en el modelo, coincidiendo con la bio1 (temperatura media anual) como una variable importante respecto a esta investigación. Posteriormente Sáenz *et al.*, (2012) y Pérez (2017) modelaron *A. religiosa* con escenarios de cambio climático y obtuvieron una superficie potencial de 47,356 km² y 5,190,902 ha que equivalen a 51,909.02 km² respectivamente, menos superficie potencial que en el presente estudio y este último autor menciona que el área de distribución potencial para esta especie se ubica principalmente en la Ciudad de México, Estado de México, Michoacán, Morelos, Puebla y Querétaro con, sin embargo, cabe reiterar que la M de estudio (área de movilidad de la especie) que emplearon en ambos trabajos sólo abarca el Eje Neovolcánico Transversal, no obstante, este es un dato que concuerda con lo expuesto en el presente trabajo, ya que las mejores condiciones idóneas se encuentran en dicha región biogeográfica.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4 predicen una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 75,357 km² (46.35%) a 78,898 km² (48.53%) para los escenarios SSP585 (Figura 7e) y SSP370 (Figura 7d) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -43.63 y -45.92%. En el modelo UKESM1-0-LL se predice un rango de pérdida de hábitat idóneo mayor al anterior, pues se estima de 78,467 km² (48.30%) a 88,283 km² (54.30%) para los escenarios SSP585 (Figura 7g) y SSP370 (Figura 7f) respectivamente,

sin embargo, predicen menor ganancia de hábitat (Cuadro 7) respecto a los escenarios del modelo anterior, el cambio negativo de hábitat adecuado es de -45.90% (SSP585) y -53.83% (SSP370). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del 47.32%. Gómez (2011) coincide parcialmente en que se verá una disminución de condiciones idóneas principalmente en el Eje Neovolcánico Transversal; por otra parte, Sáenz *et al.*, (2012) e Islas *et al.* (2015) modelaron escenarios de cambio climático en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca y mencionan que en el futuro podría desaparecer casi en su totalidad el hábitat de la mariposa monarca que está conformado principalmente por el bosque de *A. religiosa*. De modo similar Romahn (2020) en su trabajo de tesis doctoral sobre la distribución pasada y futura de *A. religiosa* (Kunth) Schltldl. & Cham. en el oriente del estado de México señala que de acuerdo a los escenarios de cambio climático *A. religiosa* perderá condiciones de idoneidad en el futuro, obteniendo mejores condiciones a mayor altitud.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 7c) ocupa aproximadamente 13,767.2 km² que representa el 65.86% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se localizan de mayor a menor superficie al sureste y noroeste del estado de Hidalgo en 37 municipios (ANEXO 2), donde coinciden con las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central y bosques montanos de Veracruz.

La proyección para el estado de Hidalgo del modelo GFDL-ESM4 predice una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 7,477.6 km² (54.31%) a 8,866.4 km² (64.40%) para los escenarios SSP585 (Figura 7i) y SSP370 (Figura 7h) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -53.8 y -64.40%. En el modelo UKESM1-0-LL se predice un rango de pérdida de hábitat idóneo mayor al anterior, pues se estima de 5,112.8 km² (37.14%) a 9,043.2 km² (65.69%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP585 (Figura 7k) y SSP370 (Figura 7j) respectivamente respecto a los escenarios del modelo anterior, el cambio negativo de hábitat adecuado es de -33.42% (SSP585) y -65.69% (SSP370). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del 54.33% en el estado. Romahn (2020) en su proyección hacia el 2099 menciona que las mejores condiciones idóneas para *A. religiosa* se predicen al sur del estado de Hidalgo, mientras que en esta investigación la ganancia de áreas idóneas se predice al centro y norte

(Figura 7k); en contraste, Pérez (2017) reporta que las proyecciones para el 2039 la especie aumentará la superficie potencial en el estado casi de cuatro veces.

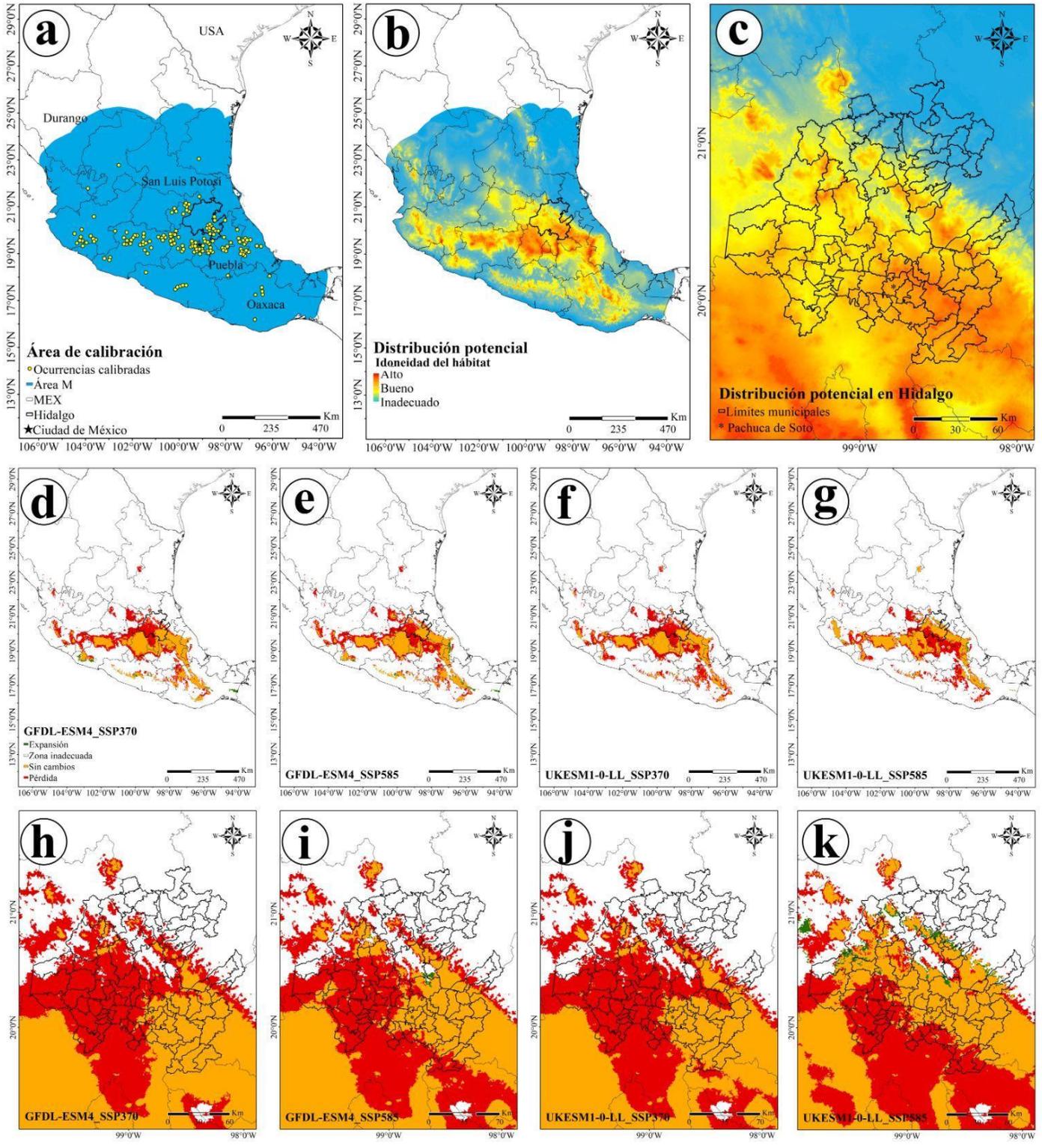


Figura 7. Área de calibración de *A. religiosa* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Hesperocypris benthamii

Ocho variables se seleccionaron para esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 61% (Cuadro 5). El área de la M de estudio para esta especie se localiza en gran parte del territorio de Guatemala y México (Figura 8a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 8b) ocupa aproximadamente 259,611 km² (Cuadro 6) y representa el 0.17% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en ocho ecorregiones (ANEXO 3) y se encuentran en México: en la Ciudad de México, Chiapas, Estado de México, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz; y en Guatemala: en los departamentos de Huehuetenango y Sacatepéquez.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 8d) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 93,642 km² (36.07%), además, predice mayor ganancia de hábitat adecuado respecto a los demás escenarios con 32,736 km² (12.61%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -23.46 (Cuadro 7). En el modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 8g) se predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 155,349 km² (59.84%); sin embargo, se predice una ganancia de hábitat idóneo con 2,791 km² (1.08%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado de -58.76%. En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del 42.12% (Cuadro 7).

En el estado de Yucatán se obtuvieron registros (ocurrencias) (Figura 8a); sin embargo, de acuerdo a los resultados del mapa de distribución potencial (Figura 8b), en ese estado no se encuentran las condiciones óptimas para la distribución de la especie, esto sugiere que posiblemente esos registros sean producto de una plantación o valores atípicos (outliers); y en los estados de Ciudad de México, Morelos, Tlaxcala, Nuevo León y Zacatecas no existen registros pero se predicen altas condiciones idóneas y buenas en los últimos dos estados; además, de acuerdo a los resultados de los escenarios de cambio climático se prevé que hacia el 2070 en los estados de Morelos, Nuevo León y Zacatecas se prevé incluso una ganancia de zonas idóneas; por otra parte, en Guatemala tampoco se obtuvieron registros de presencia pero presenta buenas condiciones de idoneidad en casi la mitad del país y para el periodo 2041-2070 se predice que permanezcan gran parte de esas condiciones idóneas.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 8c) ocupa aproximadamente 17,036 km² que representa el 81.62% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran al este del estado donde coinciden mayormente con la región biogeográfica de la Sierra Madre Oriental y en menor proporción en la región del Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino), el Golfo de México y el Eje Volcánico, localizadas en 30 municipios (ANEXO 2).

La proyección para el estado de Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 8h) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 4,049.6 km² (23.77%) (Cuadro 7), sin embargo, no se predice ganancia de hábitat idóneo. El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 8k) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 7,716 km² (45.29%) (Cuadro 7); además, tampoco se predice ganancia de hábitat idóneo. En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del 32.51% en el estado.

Este representa el primer estudio sobre distribución potencial y escenarios de cambio climático para esta especie a nivel global y estatal.

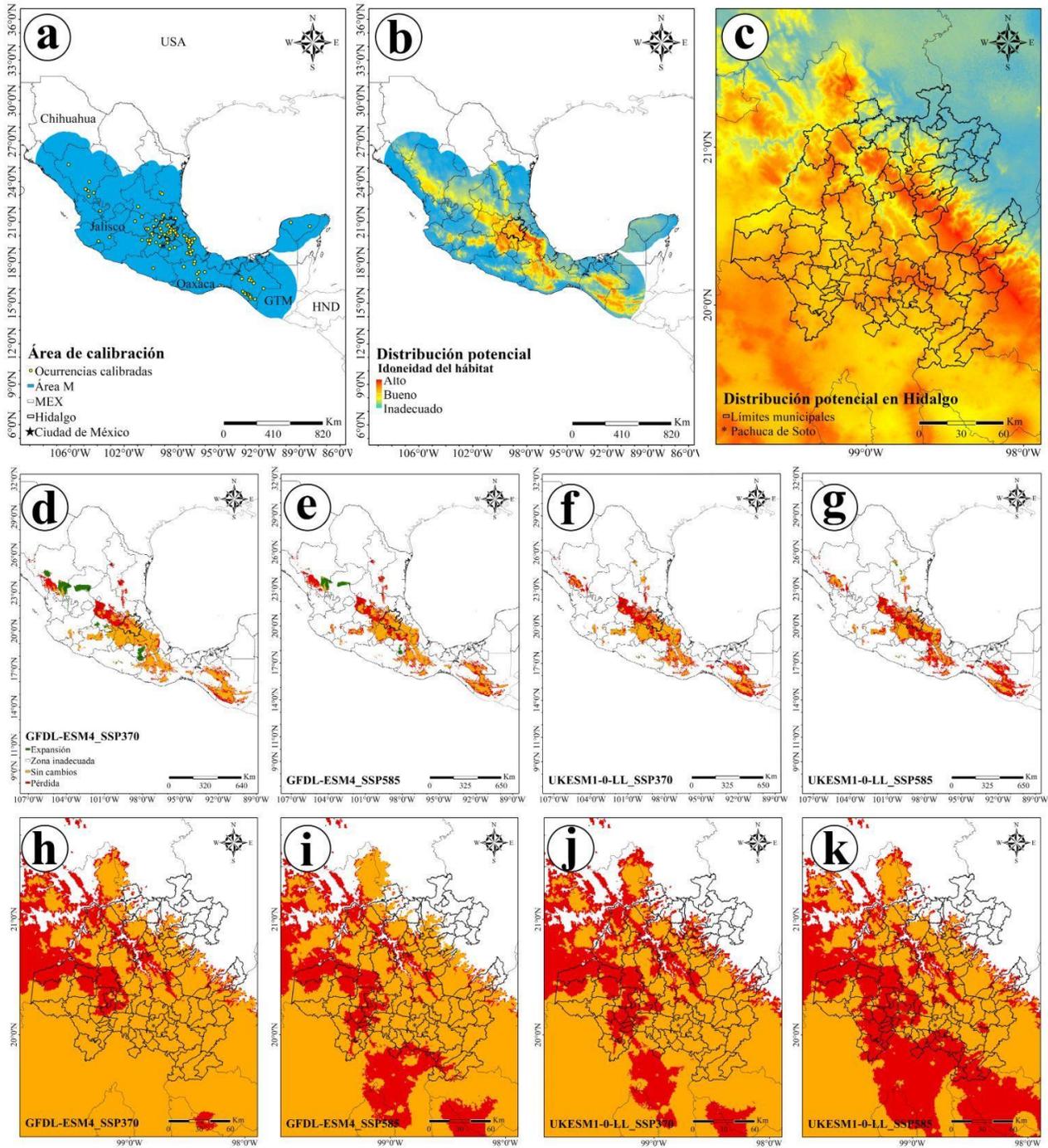


Figura 8. Área de calibración de *H. benthamii* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Hesperocypris lusitanica

Ocho variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 47% (Cuadro 5). El área M de estudio para esta especie abarca los países de Belice, Costa Rica (al norte), El Salvador, Estados Unidos (al sur), Guatemala, y en gran parte del territorio de Honduras, México y Nicaragua (Figura 9a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 9b) ocupa aproximadamente 474,050 km² (Cuadro 6) que equivale al 0.32% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 14 ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los países de México, Guatemala, Honduras, El Salvador, y Nicaragua. En el trabajo de tesis de maestría de Areola (2016) utilizó sólo la República Mexicana como área M y obtuvo una superficie potencial para la especie de 3,840,715.4 ha que equivalen a 38,407.154 km², menor extensión que en el presente trabajo, además de que sólo consideró las altas condiciones para el cálculo de la superficie; sin embargo, su mapa de distribución potencial exhibe una extensión similar respecto a las altas condiciones de idoneidad (color rojo) del nuestro. La distribución conocida de la especie también coincide con Farjon (2017) a excepción de que en este trabajo no se obtuvieron registros ni condiciones idóneas para Belice.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4 predicen una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 194,041 km² (40.93%) a 204,769 km² (43.20%) para los escenarios SSP585 (Figura 9e) y SSP370 (Figura 9d) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -40.72 (SSP585) y -43.08% (SSP370) (Cuadro 7). En el modelo UKESM1-0-LL se predice mayor pérdida de hábitat idóneo respecto al anterior, pues se estima de 249,172 km² (52.56%) a 249,496 km² (52.63%) para los escenarios SSP370 (Figura 9f) y SSP585 (Figura 9g) respectivamente, sin embargo, predicen mayor ganancia de hábitat respecto a los escenarios del modelo anterior (Cuadro 7), el cambio negativo de hábitat adecuado es de -51.94% (SSP370) y -52.20% (SSP585). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado de -46.99%.

En México en los estados de Campeche, Quintana Roo, Sonora y Yucatán existen registros, pero en el mapa de distribución potencial no se predicen condiciones idóneas, lo cual sugiere que esos registros sean resultado de plantaciones; y de acuerdo a los resultados de los escenarios de

cambio climático se prevé que hacia el periodo 2041-2070 desaparezcan casi en su totalidad las condiciones idóneas para los países de El Salvador y Nicaragua.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 9c) ocupa aproximadamente 15,074.4 km² que equivale al 72.11% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y en los bosques montanos de Veracruz, seguidas por los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y en el matorral de la Meseta Central, localizadas en 61 municipios (ANEXO 2). La proyección de la distribución potencial en Hidalgo de Areola (2016) también coincide con los resultados de esta investigación.

La proyección para el estado de Hidalgo del modelo GFDL-ESM4 predice una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 4,282.4 km² (28.41%) a 6,687.2 km² (44.36%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP585 (Figura 9i) y SSP370 (Figura 9h) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -25.62 y -43.22%. En el modelo UKESM1-0-LL se predice una pérdida de hábitat idóneo mayor al anterior, pues se estima de 6,844.8 km² (45.41%) a 6,983.2 km² (46.32%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP370 (Figura 9j) y SSP585 (Figura 9k) respectivamente, el cambio negativo de hábitat adecuado es de -45.41% (SSP370) y -46.32% (SSP585). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del -40.14% en el estado.

Para el caso de las áreas con ganancia de condiciones idóneas se verán mayormente reflejadas hacia el norte del estado de Hidalgo, en las ecorregiones de los bosques montanos de Veracruz y los bosques húmedos de Veracruz en orden de mayor a menor superficie respectivamente, esa ganancia en zonas de mayor rango altitudinal con presencia de menor temperatura puede estar asociado a que *H. lusitanica* es una especie vulnerable al cambio climático por su baja tolerancia a las altas temperaturas (Gómez *et al.*, 2008).

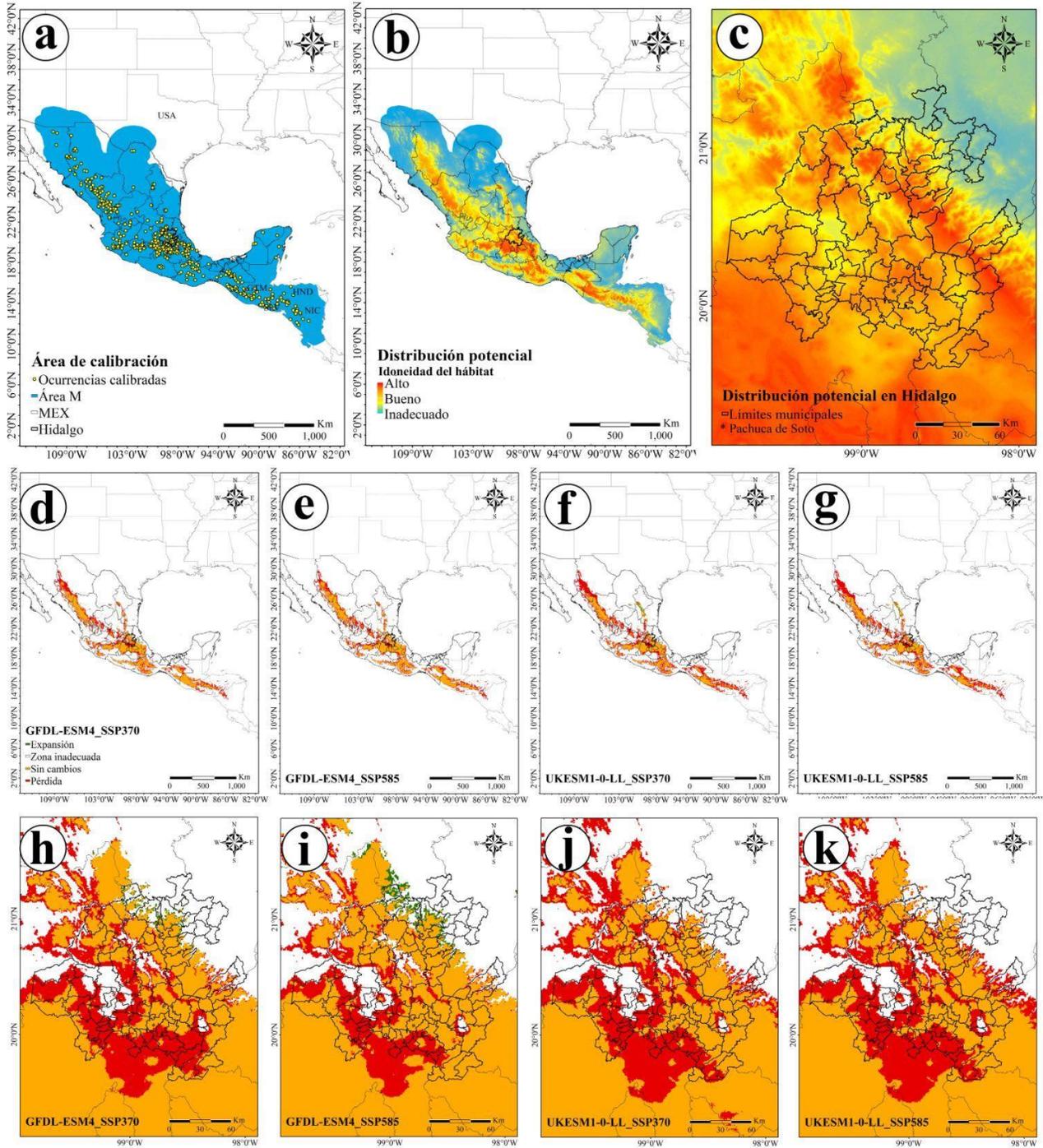


Figura 9. Área de calibración de *H. lusitanica* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Juniperus angosturana

Siete variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio3 (isotermalidad) fue la que más contribuyó al modelo con 27% (Cuadro 5). El área de la M de estudio para esta especie se ubica al sur de Estados Unidos y al noreste de México (Figura 10a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 10b) ocupa aproximadamente 87,783 km² (Cuadro 6) y representa el 0.06% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen al este del país en tres ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro y Coahuila. En el trabajo de tesis de maestría de López (2020) obtuvo una superficie potencial para la especie de 30,508.5 km², menor superficie respecto al nuestro; sin embargo, su mapa de distribución potencial coincide con el nuestro ya que se predice condiciones idóneas en Guanajuato y Zacatecas a pesar de no contar con registros de presencia. De igual manera en el trabajo de maestría de Sánchez (2024), la distribución potencial predicha para la especie es similar con el nuestro, pero con menor superficie potencial, sin embargo, el área M empleada en su estudio solo abarca parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental. La distribución conocida de la especie también coincide con Farjon (2017), además de que en dicha área se encuentran las altas condiciones idóneas de acuerdo al mapa de distribución potencial generado en el presente estudio.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4 predicen una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 44,063 km² (50.20%) a 57,634 km² (65.66%) para los escenarios SSP585 (Figura 10e) y SSP370 (Figura 10d) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -43.48% (SSP585) y -52.89% (SSP370) (Cuadro 7). En el modelo UKESM1-0-LL se predice menor pérdida de hábitat idóneo respecto al anterior, pues se estima de 27,562 km² (31.40%) a 43,323 km² (49.35%) para los escenarios SSP585 (Figura 10g) y SSP370 (Figura 10f) respectivamente, sin embargo, predicen mayor ganancia de hábitat respecto a los escenarios del modelo anterior (Cuadro 7), el cambio negativo de hábitat adecuado es de -3.68% (SSP585) y -38.02% (SSP370). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado de -34.52%.

De acuerdo a los resultados de los escenarios de cambio climático a nivel global se prevé que hacia el 2070 la pérdida de condiciones idóneas se verá afectada en las ecorregiones con orden de

mayor a menor superficie en el matorral de la meseta central, matorral central mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y el desierto Chihuahuense y la ganancia de áreas adecuadas de mayor a menor superficie en las ecorregiones de bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, (en los estados de Puebla y Tlaxcala que en la actualidad no presentan condiciones idóneas), en el matorral de la Meseta Central y los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 10c) ocupa aproximadamente 9,141.6 km² que representa el 43.73% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran en orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones del matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central y los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, localizadas en 11 municipios (ANEXO 2). La proyección de la distribución potencial en Hidalgo de López (2020) es similar a la de nuestro trabajo, con la diferencia que las condiciones de idoneidad en su trabajo también se pueden observar en menor superficie al centro-sur del estado.

La proyección para el estado de Hidalgo del modelo GFDL-ESM4 predice una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 3,719.2 km² (40.68%) a 3,908.8 km² (42.76%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP585 (Figura 10i) y SSP370 (Figura 10h) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -20.78% (SSP370) y -28.29% (SSP585). En el modelo UKESM1-0-LL se predice una pérdida de hábitat idóneo menor al anterior, pues se estima de 2,492 km² (27.26%) a 2,833.6 km² (31%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP370 (Figura 10j) y SSP585 (Figura 10k) respectivamente, el cambio negativo de hábitat adecuado es de -9.86% (SSP370) y -23.4% (SSP585). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del -20.58% en el estado.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de condiciones idóneas se localizan al sur, en las ecorregiones con orden de mayor a menor superficie en el matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques de pino-encino del Cinturón Volcánico Transmexicano. Para el caso de las áreas con ganancia de condiciones idóneas se verán mayormente reflejadas hacia el norte del estado de Hidalgo, en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, y los bosques montañosos de Veracruz en orden de mayor a menor superficie respectivamente.

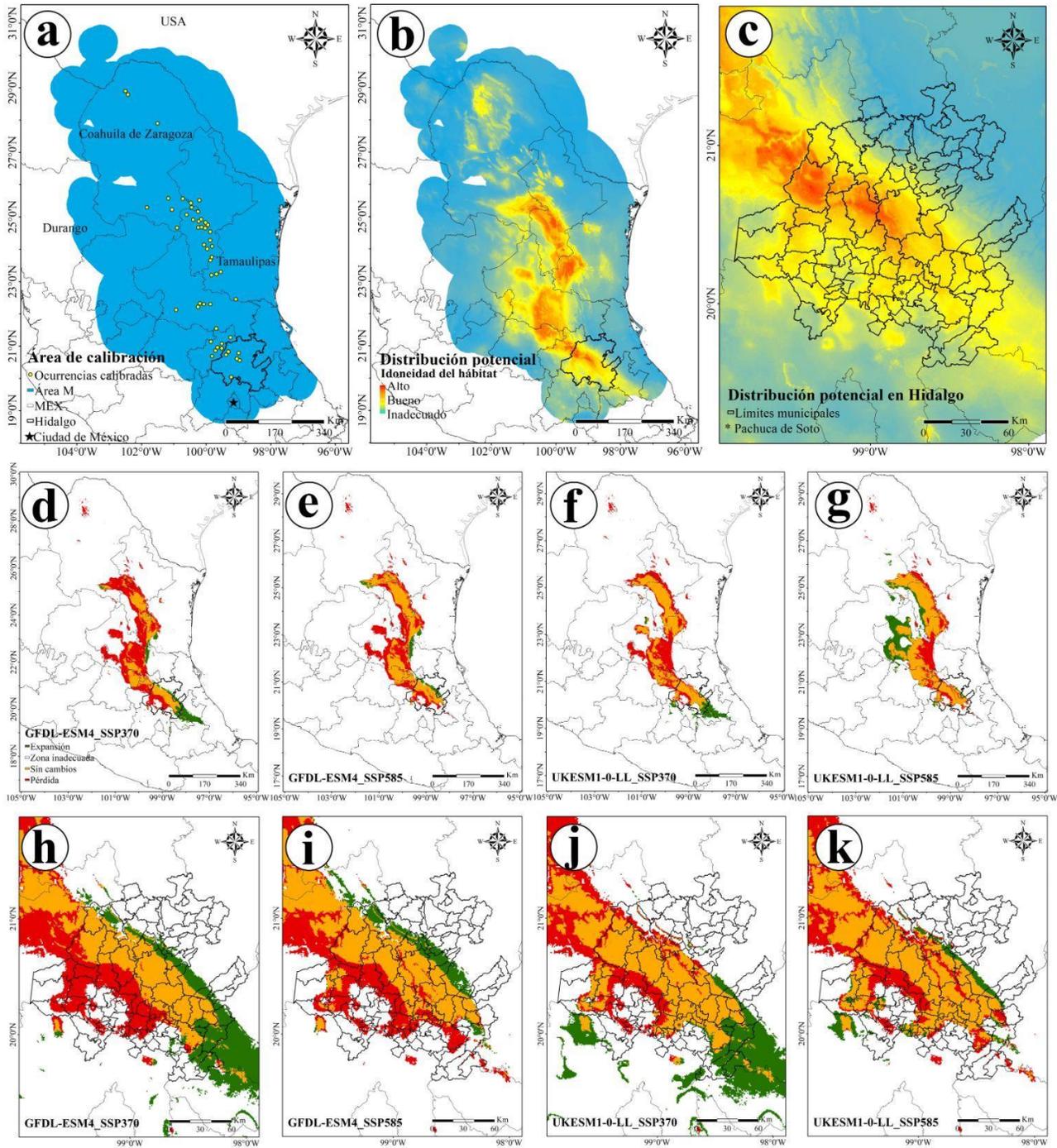


Figura 10. Área de calibración de *J. angosturana* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Juniperus deppeana

10 variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio5 (Temperatura máxima del mes más cálido) fue la que más contribuyó al modelo con 29% (Cuadro 5). El área de la M de estudio para esta se ubica en Estados Unidos (al sur), Guatemala (al suroeste) y México (gran parte del territorio) (Figura 11a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 11b) ocupa aproximadamente 737,004 km² (Cuadro 6) y representa el 0.50% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 14 ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los países de México (casi toda la República mexicana a excepción de la península de Baja California y la península de Yucatán), Estados Unidos (al sur) y Guatemala (al oeste). De modo similar, en el trabajo de tesis de maestría de López (2020) obtuvo una superficie potencial para la especie de 630,874.5 km², su mapa de distribución potencial presenta un patrón de distribución afín al nuestro, además también se predicen condiciones idóneas en el estado de Guanajuato a pesar de no contar con registros de presencia y en el trabajo de Sánchez (2024) coincide parcialmente con el nuestro a pesar de haber empleado solo parte de la Sierra Madre Oriental como M de estudio. Este mapa refuerza la proyección estimada sobre la distribución potencial y nos da una idea de la buena capacidad de adaptación que tiene la especie a diferentes tipos de hábitats, ya que se considera que la especie del género *Juniperus* es más generalista (López, 2020) debido a su amplia distribución latitudinal (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4 predicen una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 315,288 km² (42.78%) a 338,400 km² (45.92%) para los escenarios SSP370 (Figura 11d) y SSP585 (Figura 11e) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -42.16% (SSP370) y -45.35% (SSP585) (Cuadro 7). En el modelo UKESM1-0-LL se predice mayor pérdida de hábitat idóneo respecto al anterior, pues se estima de 410,799 km² (55.74%) a 421,903 km² (57.25%) para los escenarios SSP370 (Figura 11f) y SSP585 (Figura 11g) respectivamente, sin embargo, predicen mayor ganancia de hábitat respecto a los escenarios del modelo anterior (Cuadro 7), el cambio negativo de hábitat adecuado es de -53.07% (SSP370) y -55.38% (SSP585). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado de -48.99%.

En el mapa de distribución potencial se observan registros al sureste de Estados Unidos que posiblemente se trate de outliers (valores atípicos o extremos) o individuos plantados, ya que no se predicen condiciones idóneas; por otra parte, al sur de Guatemala se predicen buenas condiciones idóneas a pesar de que no se obtuvieron registros en tal país. De acuerdo a los resultados de los escenarios de cambio climático a nivel global se prevé que hacia el periodo 2041-2070 la pérdida de condiciones se verá afectada en las ecorregiones con orden de mayor a menor superficie en los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central, desierto Chihuahuense, bosques de pino-encino de la Sierra madre del Sur, bosques de pino-encino Centroamericanos, Matorral del valle de Tehuacán, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques montanos de Veracruz, bosques secos del Balsas, bosques montañosos de Arizona y matorrales de la meseta de Colorado; y la ganancia de áreas adecuadas de mayor a menor superficie en las ecorregiones de matorrales de la meseta de Colorado, bosques montañosos de Arizona, bosques rocosos de Colorado, bosques de pino-encino Centroamericanos, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra madre del Sur y bosques montanos de Wasatch y Uinta.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 11c) ocupa aproximadamente 12,536 km² que representa el 60% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran en orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central y los bosques montanos de Veracruz, localizadas en 55 municipios (ANEXO 2). Si realizamos una proyección de la distribución potencial en Hidalgo en el trabajo de López (2020), podremos observar que presenta una distribución muy similar al de la presente investigación.

La proyección para el estado de Hidalgo del modelo GFDL-ESM4 predice una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 5,158.4 km² (41.14%) a 5,866.4 km² (46.80%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP585 (Figura 11i) y SSP370 (Figura 11h) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -46.80% (SSP370) y -58.85% (SSP585). En el modelo UKESM1-0-LL se predice una pérdida de hábitat idóneo mayor al anterior, pues se estima de 7,636 km² (60.91%) a 8,029.6 km² (64.05%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP585 (Figura 11k)

y SSP370 (Figura 11j) respectivamente, el cambio negativo de hábitat adecuado es de -60.91% (SSP585) y -64.05% (SSP370). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del -57.65% en el estado.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de condiciones idóneas se localizan en las ecorregiones con orden de mayor a menor superficie en el matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques montanos de Veracruz. En el futuro no se prevé ganancia de superficie de condiciones idóneas en el estado.

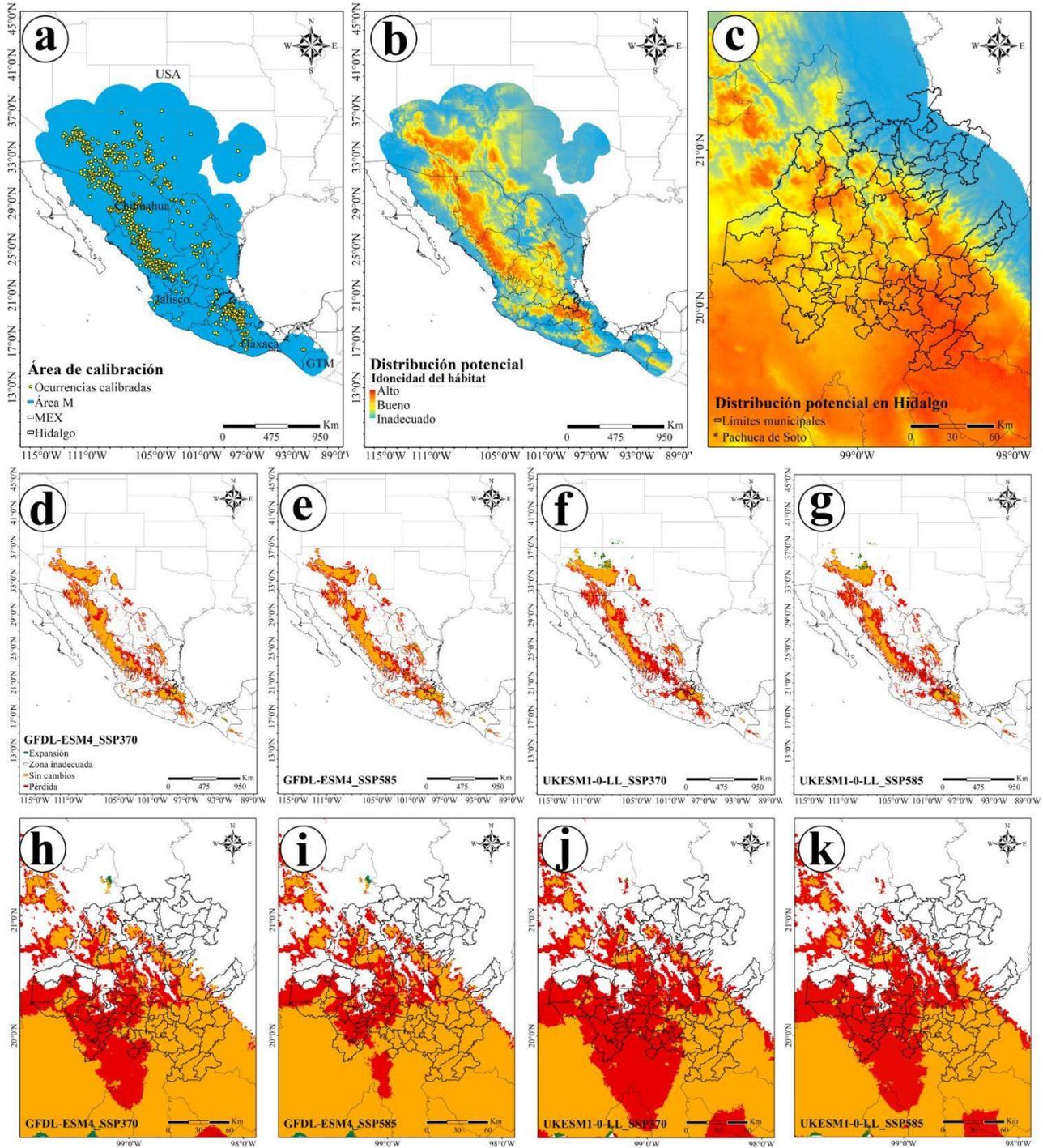


Figura 11. Área de calibración de *J. depeana* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Juniperus flaccida

Nueve variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 30% (Cuadro 5) y comparte una similitud climática con *J. deppeana* (Bannister y Neuner, 2001). El área M de estudio para esta especie abarca los países de Estados Unidos (al sur) y México (gran parte del territorio) (Figura 12a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 12b) ocupa aproximadamente 415,056 km² (Cuadro 6) que equivale al 0.28% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen al este del país en 14 ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los estados de Oaxaca, Hidalgo, Puebla, México, Tamaulipas, San Luis Potosí, Nuevo León, Guerrero, Michoacán, Coahuila, Tlaxcala, Guanajuato, Jalisco, Ciudad de México, Morelos, Veracruz, Durango y Sinaloa. López (2020) coincide en la distribución potencial de la especie con respecto al mapa generado en esta investigación, además la superficie potencial fue muy similar con 428,495 km². En el trabajo de tesis de doctorado de Manzanilla (2021) utilizó sólo el estado de Nuevo León como área M y su mapa de distribución potencial exhibe una extensión similar respecto a las altas condiciones de idoneidad (color rojo) al hacer una proyección de nuestro mapa a Nuevo León. Sánchez (2024) difiere parcialmente respecto al nuestro considerando que solo usó parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental como M de estudio.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4 predicen una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 154,174 km² (37.15%) a 162,040 km² (39.04%) para los escenarios SSP370 (Figura 12d) y SSP585 (Figura 12e) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -35.23 (SSP370) y -36.53% (SSP585) (Cuadro 7). En el modelo UKESM1-0-LL se predice menor pérdida de hábitat idóneo respecto al anterior, pues se estima de 138,444 km² (33.36%) a 148,983 km² (35.90%) para los escenarios SSP370 (Figura 12f) y SSP585 (Figura 12g) respectivamente, sin embargo, predicen mayor ganancia de hábitat respecto a los escenarios del modelo anterior (Cuadro 7), el cambio negativo de hábitat adecuado es de -20.89% (SSP585) y -26.45% (SSP370). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado de -29.78%.

En Estados Unidos existen registros al norte del estado de Texas pero en el mapa de distribución potencial no se predicen condiciones idóneas, lo cual sugiere que esos registros sean

resultado de plantaciones, sólo se presentan de buenas a inadecuadas condiciones al suroeste de dicho estado; y de acuerdo a los resultados de los escenarios de cambio climático se prevé que en hacia el periodo 2041-2070 no existirá ganancia de condiciones idóneas para esas zonas. Las áreas con ganancia de condiciones idóneas se verán mayormente reflejadas hacia el oeste de México, con orden de mayor a menor superficie en los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, Chihuahua, Coahuila y Guerrero en las ecorregiones de matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental, matorral Central mexicano, desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Oriental en orden de mayor a menor superficie respectivamente.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 12c) ocupa aproximadamente 17,749.6 km² que equivale al 84.90% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral de la Meseta Central, matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y en los bosques montanos de Veracruz, localizadas en 69 municipios (ANEXO 2). La proyección de la distribución potencial en Hidalgo de López (2020) también coincide con los resultados de esta investigación.

La proyección para el estado de Hidalgo del modelo GFDL-ESM4 predice una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 1,574.4 km² (8.87%) a 2,629.6 km² (14.81%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP370 (Figura 12h) y SSP585 (Figura 12i) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -7.92% (SSP370) y -13.56% (SSP585). En el modelo UKESM1-0-LL se predice una pérdida de hábitat idóneo menor al anterior, pues se estima de 1,780.8 km² (10.03%) a 1,820.8 km² (10.26%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP370 (Figura 12j) y SSP585 (Figura 12k) respectivamente, el cambio negativo de hábitat adecuado es de -10.03% (SSP370) y -10.26% (SSP585). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del -10.44% en el estado.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de condiciones idóneas se localizan en las ecorregiones con orden de mayor a menor superficie en el matorral Central Mexicano, bosques montanos de Veracruz, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano. En el futuro se prevé poca ganancia de superficie de condiciones idóneas hacia el norte del estado, en las ecorregiones con

orden de mayor a menor superficie en los bosques montanos de Veracruz y en los bosques húmedos de Veracruz.

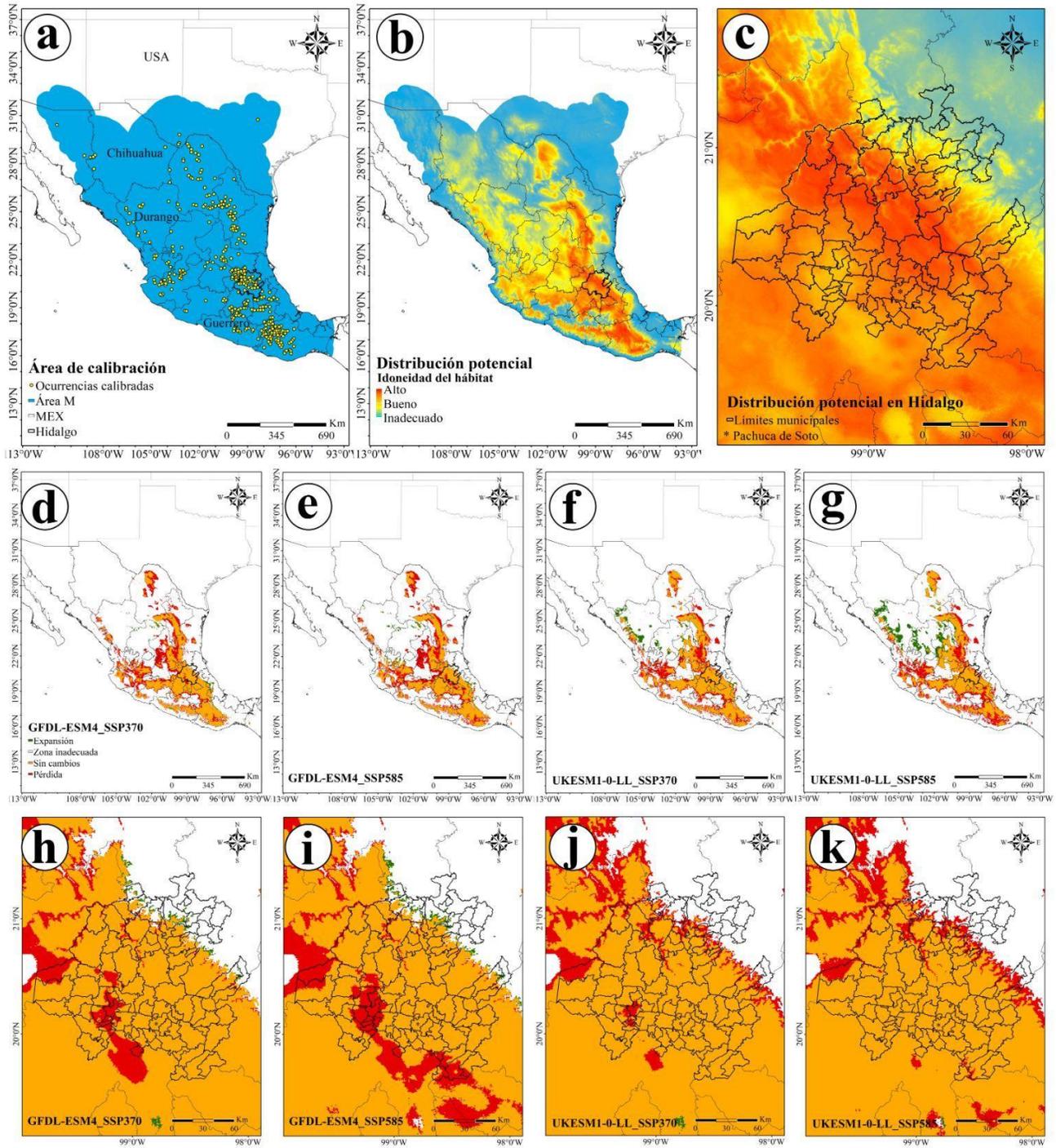


Figura 12. Área de calibración de *J. flaccida* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k).**

Juniperus monticola

Ocho variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 40% (Cuadro 5) y de acuerdo con Villanueva *et al.* (2016) el crecimiento de la especie está correlacionado con la temperatura media anual, siendo esta variable importante para su distribución. El área M de estudio para esta especie se ubica en gran parte de México (Figura 13a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 13b) ocupa aproximadamente 131,254 km² (Cuadro 6) que equivale al 0.09% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en el centro del país en 6 ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los estados de México, Puebla, Ciudad de México, Tlaxcala, Veracruz, Nuevo León, Oaxaca, Tamaulipas, Michoacán, Hidalgo, Jalisco y Morelos. López (2020) no incluyó los registros de los estados de Chihuahua, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Querétaro ubicados al centro y norte del país y obtuvo una superficie potencial de 27,993 km², sin embargo, coincide parcialmente con el patrón de distribución potencial de la especie con respecto al mapa generado en esta investigación. Pérez *et al.* (2024) coinciden parcialmente con López (2020) en cuanto a la superficie potencial con 37,222 km² y al no emplear los registros de Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Querétaro, pero al igual que esta investigación incluyeron los registros de los estados de Nuevo León y San Luis Potosí, y su mapa de distribución potencial también coincide parcialmente con el patrón de distribución potencial de nuestro trabajo.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4 predicen una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 47,688 km² (36.33%) a 58,556 km² (44.61%) para los escenarios SSP585 (Figura 13e) y SSP370 (Figura 13d) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -29.61 (SSP585) y -40.45% (SSP370) (Cuadro 7). En el modelo UKESM1-0-LL se predice mayor pérdida de hábitat idóneo respecto al anterior, pues se estima de 56,982 km² (43.41%) a 67,416 km² (51.36%) para los escenarios SSP585 (Figura 13g) y SSP370 (Figura 13f) respectivamente, además, predicen menor ganancia de hábitat respecto a los escenarios del modelo anterior (Cuadro 7), el cambio negativo de hábitat adecuado es de -41.50% (SSP585) y -51.14% (SSP370). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado de -40.68%.

De acuerdo a los resultados de los escenarios de cambio climático se prevé que hacia el periodo 2041-2070 las condiciones de idoneidad se perderán casi en su totalidad en la parte noroeste del país. Las áreas con ganancia de condiciones idóneas se verán mayormente reflejadas hacia el centro y sureste de México, con orden de mayor a menor superficie en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Hidalgo, Guerrero, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí, Querétaro y México en las ecorregiones de los bosques húmedos de Petén-Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre de Oaxaca, bosques montanos oaxaqueños, bosques montanos de Chimalapas, bosques de pino-encino centroamericanos, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Sur, matorral de la Meseta Central, matorral Central mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano en orden de mayor a menor superficie respectivamente.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 13c) ocupa aproximadamente 6,520.8 km² que equivale al 31.19% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Cinturón Volcánico Transmexicano y los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, localizadas en 11 municipios (ANEXO 2). La proyección de la distribución potencial en Hidalgo de López (2020) también coincide con los resultados de esta investigación.

La proyección para el estado de Hidalgo del modelo GFDL-ESM4 predice una pérdida de hábitat idóneo que abarca de 1,772.8 km² (27.18%) a 3,812 km² (58.46%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP585 (Figura 13i) y SSP370 (Figura 13h) respectivamente, esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -13.4% (SSP585) y -57.74% (SSP370). En el modelo UKESM1-0-LL se predice un rango de pérdida de hábitat idóneo mayor al anterior, pues se estima de 2,499.2 km² (38.33%) a 4,609.6 km² (70.69%) (Cuadro 7) para los escenarios SSP585 (Figura 13k) y SSP370 (Figura 13j) respectivamente, el cambio negativo de hábitat adecuado es de -38.11% (SSP585) y -70.69% (SSP370). En promedio se estima una disminución de hábitat adecuado del -44.99% en el estado.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de condiciones idóneas se localizan en las ecorregiones con orden de mayor a menor superficie en los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, el matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central y bosques montanos de Veracruz. En el futuro se prevé

ganancia de superficie de condiciones idóneas hacia las ecorregiones con orden de mayor a menor superficie en el matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, el matorral Central Mexicano y bosques montanos de Veracruz.

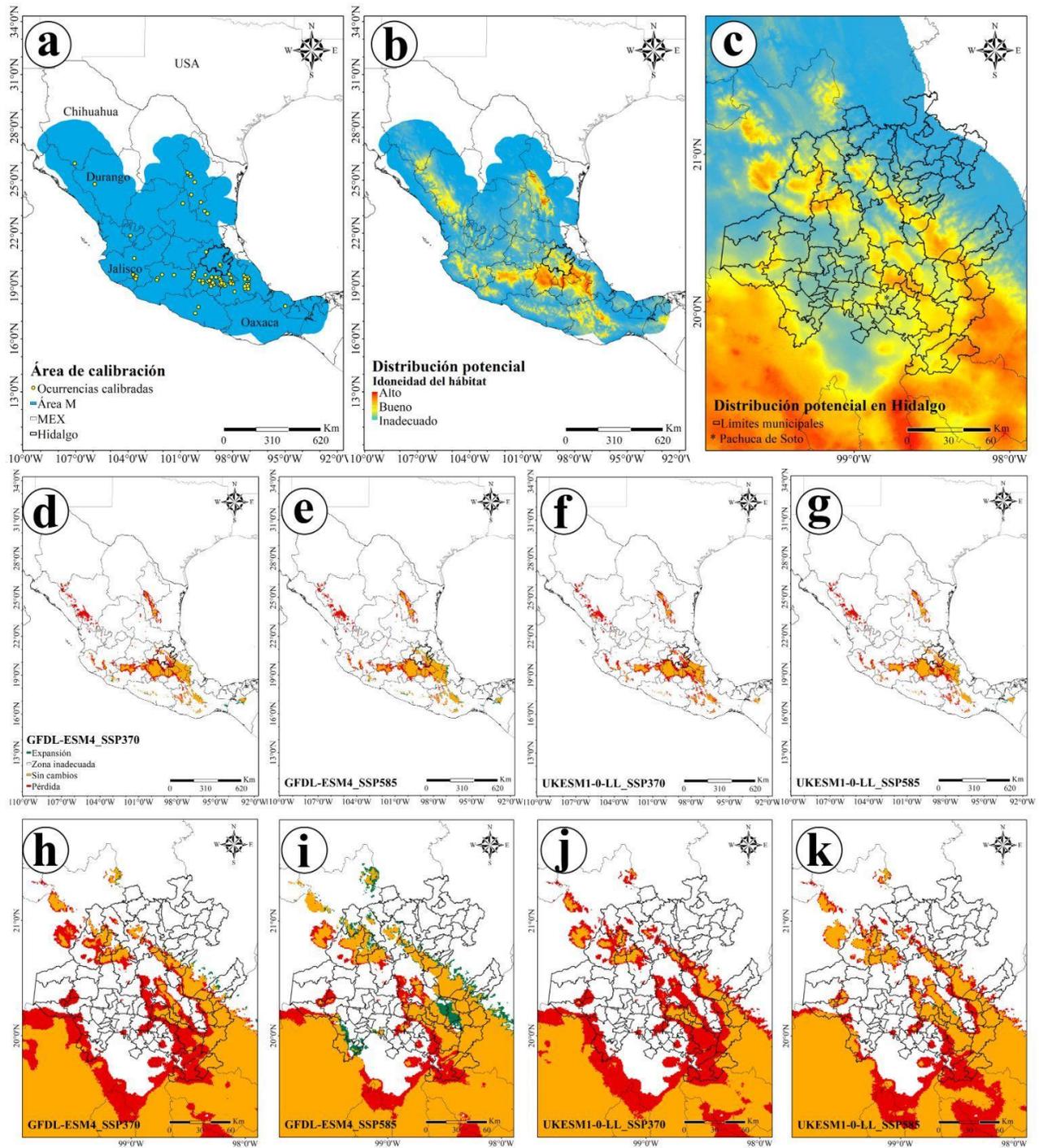


Figura 13. Área de calibración de *J. monticola* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus ayacahuite

Ocho variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 81% (Cuadro 5), Aceves *et al.*, (2018) coincide en que la variable bio1 es la que más contribuye al modelado de la especie. El área M de estudio para esta especie abarca los países de Belice (gran parte del territorio), El Salvador, Estados Unidos (al suroeste), Guatemala, Honduras, México (gran parte del territorio) y Nicaragua (al oeste) (Figura 14a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 14b) ocupa aproximadamente 175,388 km² (Cuadro 6) que equivale al casi el 0.12% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 14 ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los países de México (en el centro y sur), Guatemala (al sur) y Honduras (al oeste). En el trabajo de Gómez *et al.*, (2011) consideran el cálculo de la superficie de zonas altas a moderadas condiciones idóneas con 88,000 km²; Gutiérrez y Trejo (2014) y Aceves *et al.*, (2018) coinciden parcialmente en el patrón de distribución potencial de la especie con respecto al mapa generado en esta investigación, pero en su trabajo las altas condiciones se ven mejor reflejadas al noroeste del país, además la superficie potencial fue menor y difiere con 99,300 y 1,597 km² respectivamente, no obstante, para el área M de su estudio sólo consideran la República mexicana; por otra parte, en el trabajo tesis de maestría de Arreola (2016) las altas condiciones idóneas coinciden más con esta investigación al encontrarse en la parte centro y sur del país, pero también obtuvo menor superficie potencial con 9,545.42 km², aunque a que al igual que los autores anteriormente citados sólo considera la República mexicana como área M. Gutiérrez y Trejo (2023) utilizaron el estado de Oaxaca como M para modelar la especie y coinciden en la proyección de superficie potencial con esta investigación para dicho estado.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 99,913 km² (56.97%) (Figura 14d); sin embargo, predice mayor superficie de áreas con ganancia de idoneidad respecto a los demás modelos con 56.97 km² (0.20%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -56.77% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 118,874 km² (67.78%) (Figura 14g); además, no predice ganancia de hábitat idóneo (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -61.61%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, al oeste de Nicaragua se predicen buenas condiciones idóneas para el establecimiento de la especie, sin embargo, de acuerdo a las proyecciones futuras, se prevé que desaparezcan casi en su totalidad hacia el periodo 2041-2070 para dicho país. La ganancia de condiciones idóneas se proyecta de mayor a menor superficie en el centro de Guatemala, al norte de Honduras y en México al sur de Chiapas y se localizan en las ecorregiones con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques húmedos atlánticos de América Central, bosques montanos de América Central, bosques de pino-encino de América Central, bosques montanos de América Central y los bosques húmedos de Petén-Veracruz.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 14c) ocupa aproximadamente 7,225.6 km² que equivale al 34.56% del territorio Hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques montanos de Veracruz y el matorral de la Meseta Central, localizadas en 38 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 5,484 km² (75.90%) (Figura 14h); por el contrario, el modelo UKESM1-0-LL_SSP585 predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 5,690.4 km² (78.75%) (Figura 14k); además, ningún modelo predice ganancia de hábitat idóneo (Cuadro 7). En promedio se estima un cambio de hábitat adecuado de -77.49% para la especie en el estado.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se verán reflejadas en la parte norte y sureste con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral de la Meseta Central, bosques montanos de Veracruz y bosques húmedos de Veracruz. En el futuro no se prevén áreas con ganancia de idoneidad para el estado.

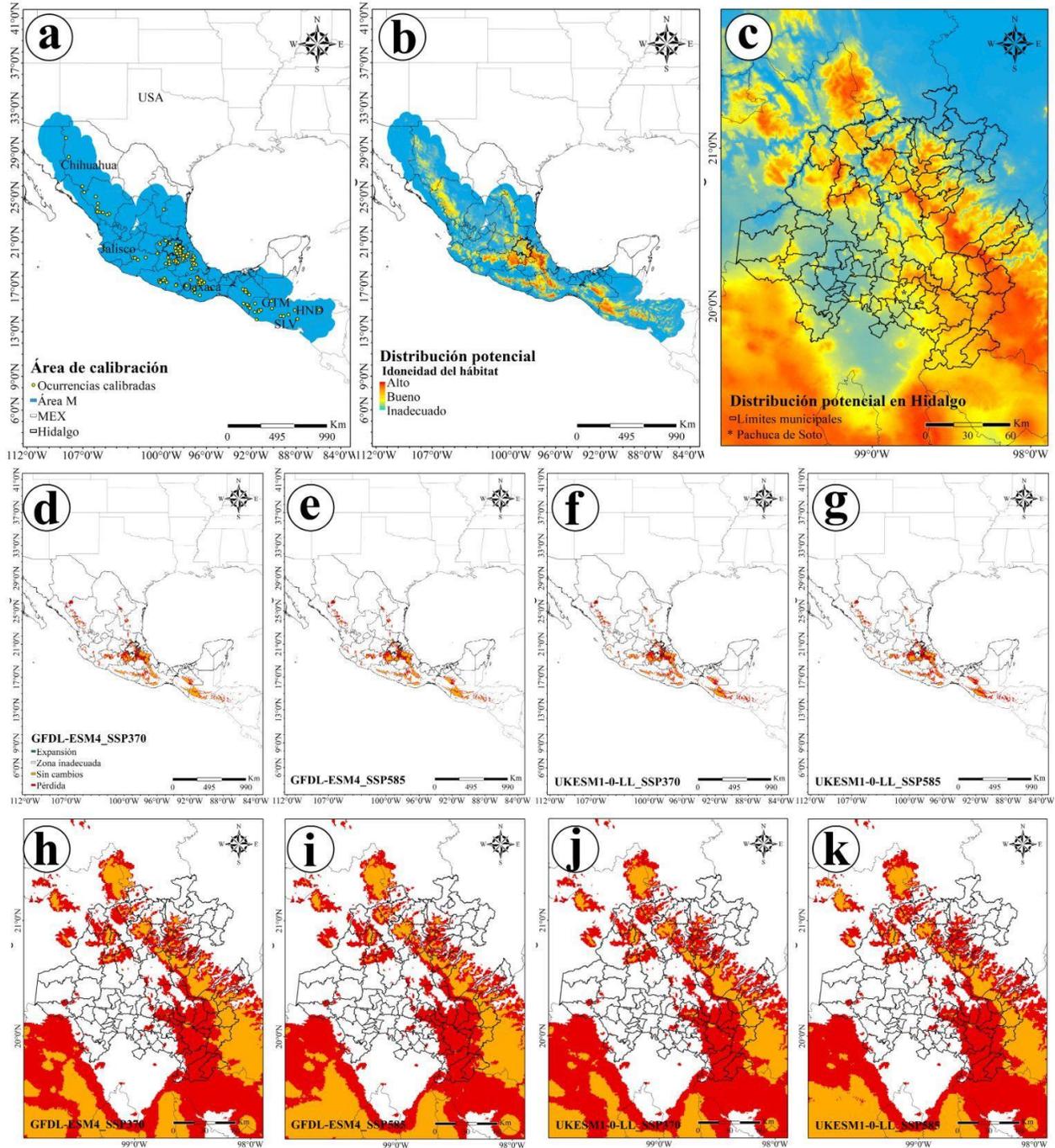


Figura 14. Área de calibración de *P. ayacahuite* **a**), distribución potencial global **b**), distribución potencial en el estado de Hidalgo **c**), escenarios climáticos a nivel global **d-g**), escenarios climáticos a nivel estatal **h-k**).

Pinus cembroides

Nueve variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio5 (temperatura máxima del mes más cálido) fue la que más contribuyó al modelo con 88% (Cuadro 5). En el trabajo de García *et al.* (2018) obtuvieron que la variable bio5 fue la segunda más importante para el modelado de la especie con 11.6%. El área M de estudio para esta especie abarca los países de Estados Unidos y México (Figura 15a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 15b) ocupa aproximadamente 547,029 km² (Cuadro 6) que equivale al casi el 0.37% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en ocho ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los países de México (en el centro y norte) y Estados Unidos (al sur). Herrera *et al.* (2018) coinciden parcialmente con la distribución reportada y generada. En el trabajo de Gómez *et al.*, (2011) consideran el cálculo de la superficie de zonas altas a moderadas condiciones idóneas con 290,000 km²; Aceves *et al.*, (2018), Pérez y Méndez (2019) y Martínez *et al.* (2023) coinciden parcialmente en el patrón de distribución potencial de la especie con respecto al mapa generado en esta investigación; por otra parte, García *et al.* (2018) utilizaron la región noreste del país como área M, aun así, dicha proyección también coincide con el mapa de esta investigación.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 234,842 km² (42.93%) (Figura 15e); sin embargo, predice mayor superficie de áreas con ganancia de idoneidad respecto a los demás modelos con 9,807 km² (1.79%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -41.14% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 15f) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 362,976 km² (66.35%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -66.22% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -53.38%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en Oaxaca no se obtuvieron registros pero al oeste del estado de Oaxaca se predicen altas condiciones idóneas para el establecimiento de la especie, y de acuerdo a las proyecciones futuras, se prevé que se mantengan parte de esas condiciones y haya una ligera ganancia hacia el norte del estado; otros estados de la república mexicana que obtendrán ganancia de condiciones idóneas son los estados de Chihuahua y Durango y para Estados Unidos se proyectan a al sur. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor

a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental, bosques de montaña de Arizona, matorral de la Meseta Central, el desierto chihuahuense y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 15c) ocupa aproximadamente 15,694.4 km² que equivale al 75.07% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral de la Meseta Central, matorral Central Mexicano y bosques montanos de Veracruz localizadas en 51 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 4,567.2 km² (29.10%) (Figura 15h); sin embargo, predice mayor superficie de áreas con ganancia de idoneidad respecto a los demás modelos con 10.4 km² (0.07%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -29.03% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 15j) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 6,743.2 km² (42.97%) (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -37.61%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se verán mayormente reflejadas en la parte oeste con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques montanos de Veracruz y bosques húmedos de Veracruz. En el futuro se prevé muy poca superficie de áreas con ganancia de idoneidad hacia el este del estado en la ecorregión de los bosques montanos de Veracruz.

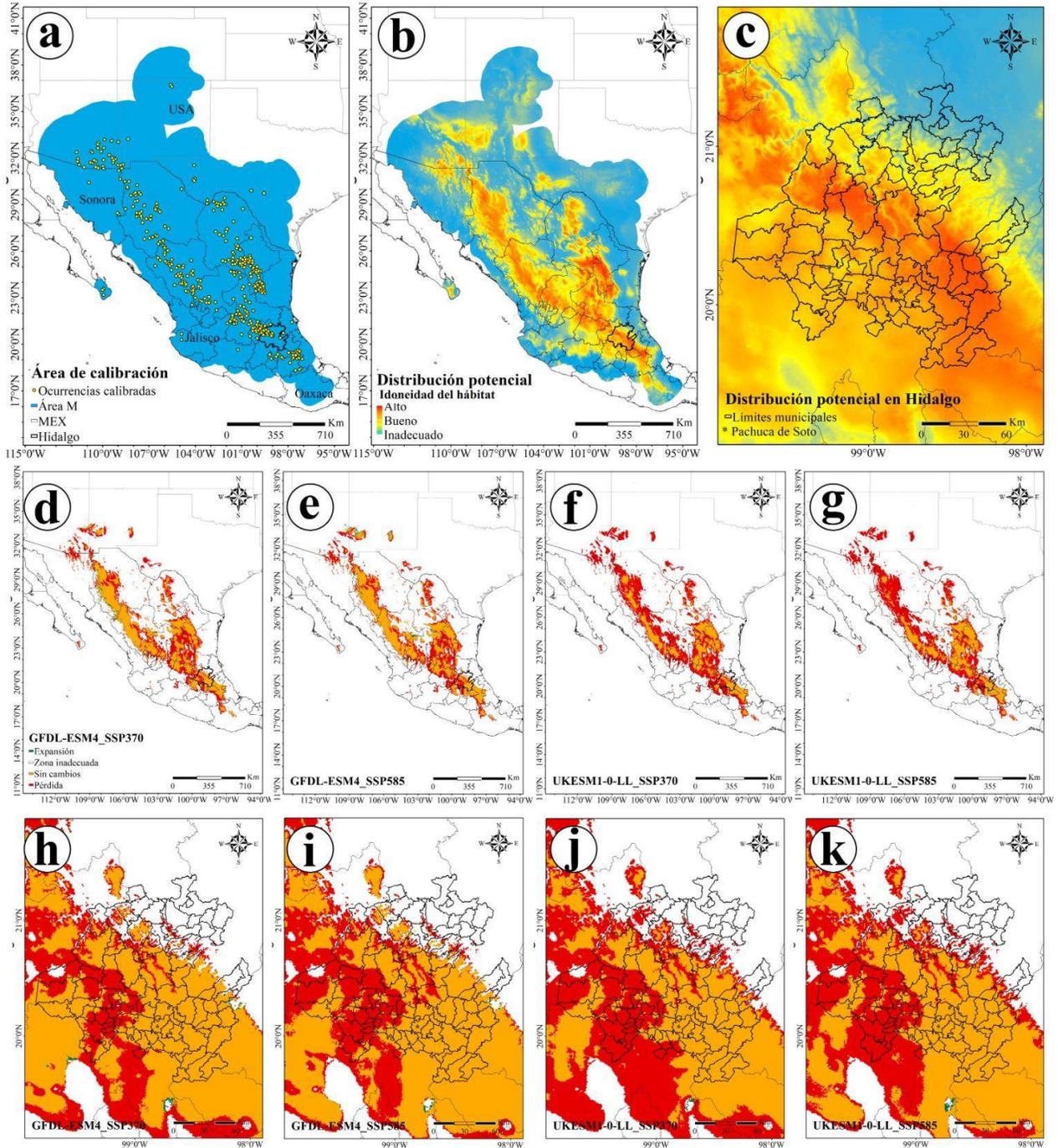


Figura 15. Área de calibración de *P. cembroides* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus devoniana

Nueve variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio4 (estacionalidad de la temperatura) fue la que más contribuyó al modelo con 67% (Cuadro 5). En el trabajo de Méndez *et al.* (2021) obtuvieron que la variable bio4 fue la segunda más importante para el modelado de la especie con 28.2%. El área M de estudio para esta especie abarca los países de Belice (al sur), El Salvador, Guatemala, Honduras y México (gran parte del territorio) (Figura 16a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 16b) ocupa aproximadamente 381,775 km² (Cuadro 6) que equivale al casi el 0.26% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 17 ecorregiones (ANEXO 3) que comprenden por orden de mayor a menor superficie en los países de México (en el centro-sur), Guatemala (en el centro-sur) y Honduras (al oeste). Aceves *et al.* (2018), Gómez *et al.* (2020) y Méndez *et al.* (2021) coinciden en el patrón de distribución potencial de la especie con respecto al mapa generado en esta investigación; por otra parte, Sáenz *et al.* (2021) difieren un poco debido a que su proyección en la parte oeste del país (en la Sierra Madre Occidental) casi no hay condiciones idóneas para la especie, aunque, para el área M empleada en el trabajo de todos los autores antes mencionados sólo consideran la república mexicana.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 138,229 km² (36.21%) (Figura 16f); además, predice áreas con ganancia de idoneidad de 12,577 km² (3.29%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -32.91% (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 16e) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 165,536 km² (43.36%); no obstante, predice poca ganancia de áreas idóneas con 3,300 km² (0.86%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -42.50% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -37.65%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en la Ciudad de México y Morelos no se obtuvieron registros, pero al sur y norte respectivamente de dichos estados se predicen altas condiciones idóneas para el establecimiento de la especie; en el caso de Honduras tampoco se obtuvieron registros, pero se predicen altas condiciones idóneas al oeste de ese país y de acuerdo a las proyecciones futuras, se prevé que se mantengan parte de esas condiciones en tales regiones. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los

bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques montanos de América Central, bosques de pino-encino de América Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral Central Mexicano y bosques húmedos de la Sierra Madre de Chiapas.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 16c) ocupa aproximadamente 7,895.2 km² que equivale casi el 37.77% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques montanos de Veracruz localizadas en 13 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 2,533.6 km² (32.09%) (Figura 16j); además, predice mayor superficie de áreas con ganancia de idoneidad respecto a los demás modelos con 570.4 km² (7.22%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -24.87% (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 16i) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 6,743.2 km² (61.87%), no obstante, predice poca ganancia de hábitat idóneo con 196 km² (2.48%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -59.39 (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -39.74%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de matorral de la Meseta Central, matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques montanos de Veracruz. Se prevé ganancia de idoneidad con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Cinturón Volcánico Transmexicano y bosques montanos de Veracruz, ubicadas en los municipios de Singuilucan, Cuauhtepic, Acatlán, Tulancingo de Bravo e Ixmiquilpan.

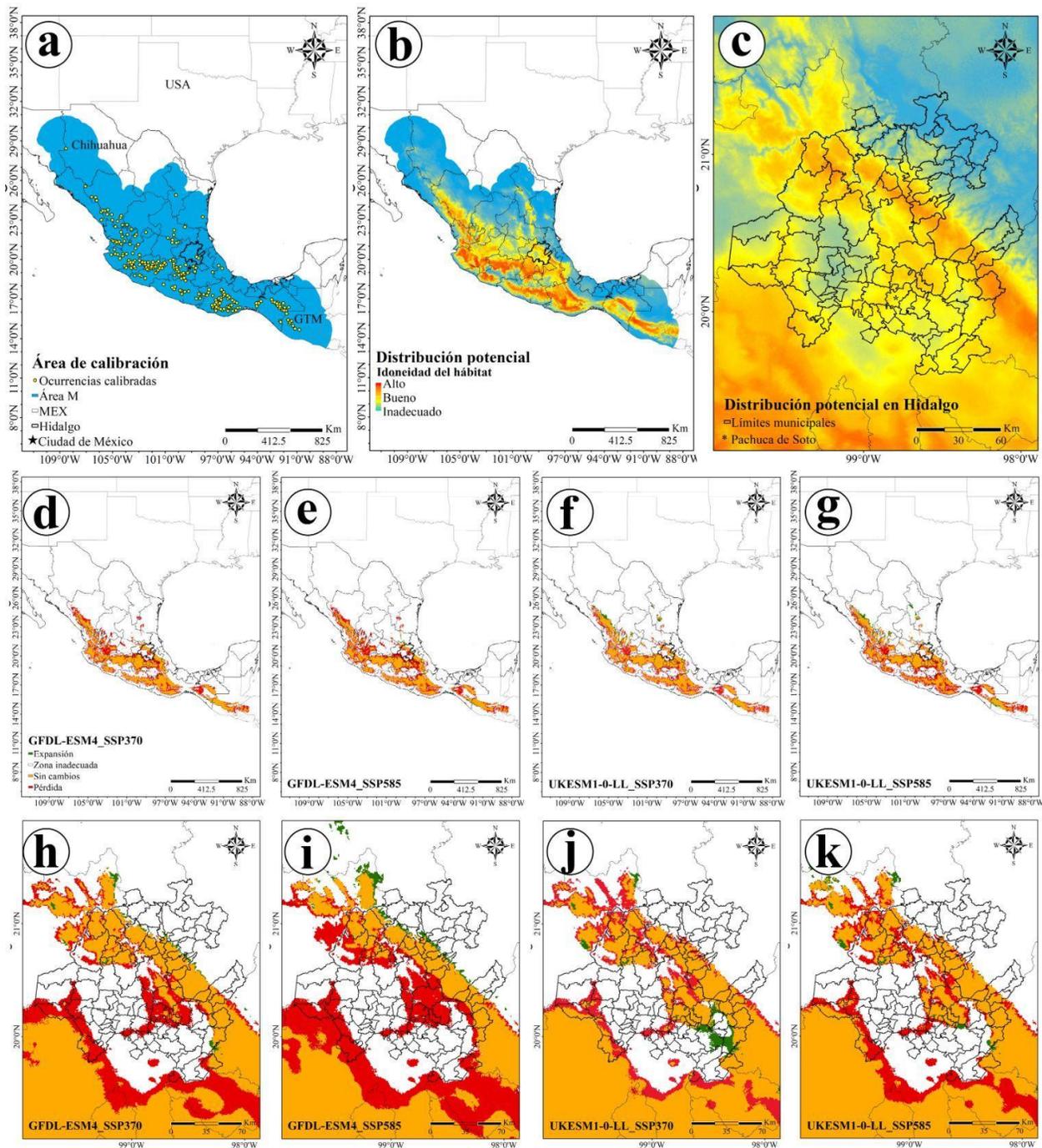


Figura 16. Área de calibración de *P. devoniana* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus greggii

Cuatro variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 51% (Cuadro 5). El área M de estudio se encuentra en la parte del centro y norte de México (Figura 17a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 17b) ocupa aproximadamente 110,901 km² (Cuadro 6) que equivale al casi el 0.07% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en seis ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas al centro y noreste de México. En el trabajo de Arreola (2016) las condiciones idóneas se reflejan más en la parte noreste del país, en el trabajo de Aceves *et al.* (2018) a parte se observan condiciones de idoneidad en los estados de Chiapas y Durango y en el de Martínez *et al.* (2020) difieren parcialmente con el patrón de distribución potencial de nuestra investigación; por otra parte, Bárcenas (2015) y Sánchez (2024) comparten similitud parcial en su proyección a pesar de que el segundo autor empleó la parte noreste del país que incluye Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas como área M.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 57,631 km² (51.97%) (Figura 17g); además, es el que predice mayor superficie con ganancia de idoneidad de 7,550 km² (6.81%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -45.16% (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 17d) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 66,533 km² (59.99%); no obstante, predice ganancia de áreas idóneas con 5,179 km² (4.67%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -55.32% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -52.29%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en el estado de Coahuila existe un registro al suroeste, pero no se encuentran altas condiciones idóneas, por lo tanto, es posible que se trate de un individuo plantado; sin embargo, de acuerdo a la proyección a futuro del modelo GFDL-ESM4_SSP585 en esa pequeña zona ocupada por ese registro se prevé una leve ganancia de idoneidad, siendo factible conservar esa área. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones del matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre de Oaxaca, bosques montanos de Oaxaca, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, desierto de Chihuahua y bosques húmedos de Veracruz.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 17c) ocupa aproximadamente 12,737.6 km² que equivale casi el 60.93% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y matorral de la meseta central, localizadas en 40 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 4,860 km² (38.15%) (Figura 17i); además, predice mayor superficie de áreas con ganancia de idoneidad respecto a los demás modelos con 38.15 km² (1.07%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -37.08% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 17k) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 7,410.4 km² (58.18%), no obstante, predice poca ganancia de hábitat idóneo con 5.6 km² (0.04%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -58.14 (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -48.52%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques montanos de Veracruz, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques húmedos de Veracruz. Se prevé poca ganancia de idoneidad al suroeste y sureste del estado con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral Central Mexicano y matorral de la Meseta Central, ubicadas en los municipios de Nopala de Villagrán, Huichapan y Santiago Tulantepec.

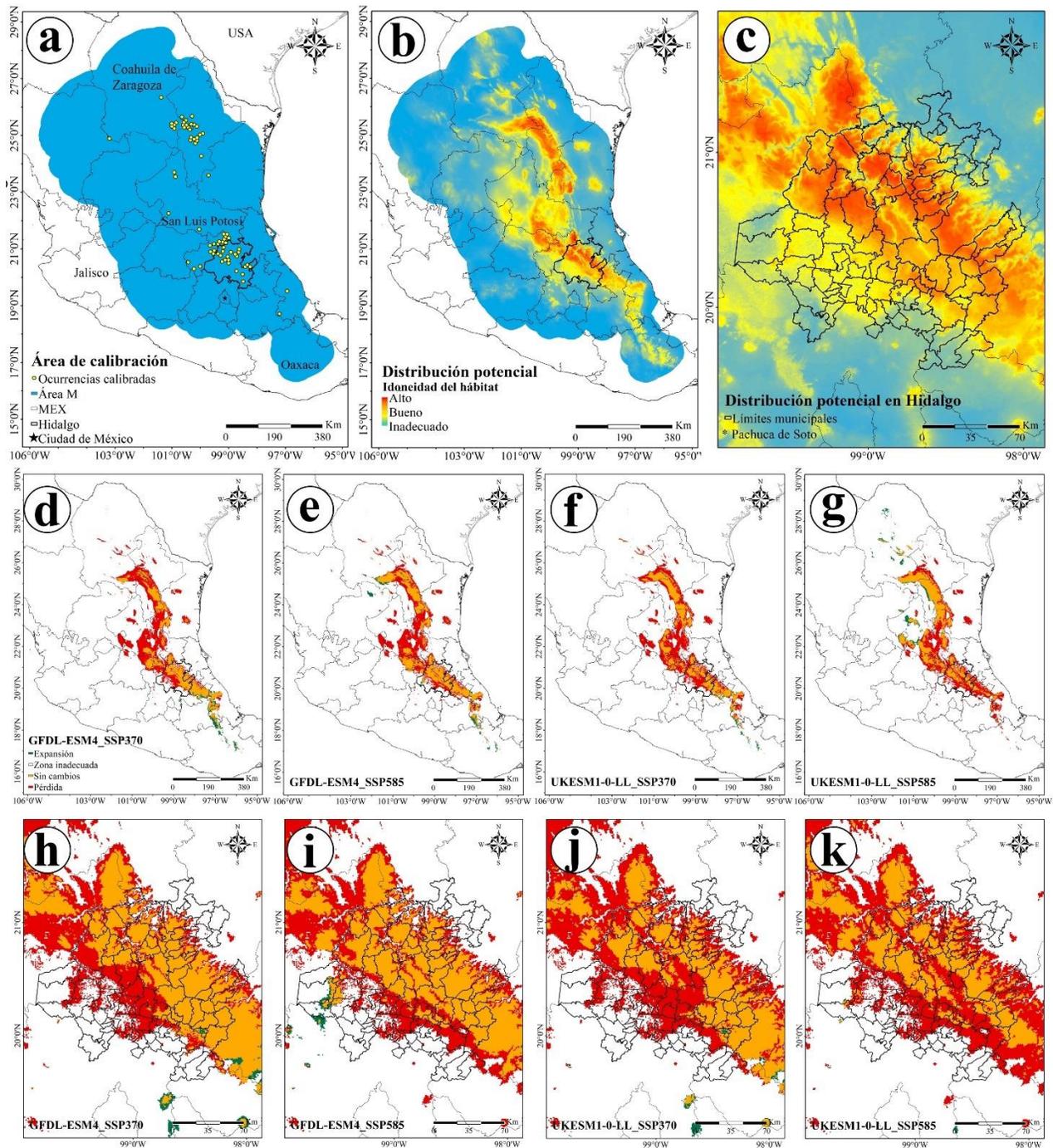


Figura 17. Área de calibración de *P. greggii* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus hartwegii

Siete variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 65% (Cuadro 5). En el trabajo de Manzanilla *et al.* (2019) coinciden en que la variable bio1 fue la más importante para el modelado de distribución potencial actual de la especie con 35%. El área M de estudio se encuentra en los países de Belice (gran parte del territorio), El Salvador, Guatemala, Honduras, México (gran parte del territorio), al norte de Nicaragua y al sur de los Estados Unidos (Figura 18a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 18b) ocupa aproximadamente 325,580 km² (Cuadro 6) que equivale a casi el 0.22% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 10 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas al centro y noreste de México. En el trabajo de tesis de maestría de Arreola (2016) y Gómez *et al.* (2020) las altas condiciones idóneas coinciden parcialmente con el nuestro, ubicándose de mayor a menor superficie en el eje volcánico transversal, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur; y de manera análoga, en los mapas de distribución potencial de Gutiérrez y Trejo (2014), Cruz *et al.* (2016) y Aceves *et al.* (2018) aunque en el primer y tercer trabajo respectivamente presentan mayor predicción de superficie potencial al noroeste de México en la Sierra Madre Occidental, no obstante sólo ocuparon la república mexicana como área M y en el segundo trabajo sólo emplearon el estado de Michoacán; y por otra parte, Manzanilla *et al.* (2019) y Sánchez (2024) difieren bastante en su proyección con poca superficie potencial, sin embargo, para el primer caso sólo emplearon el Eje Neovolcánico Transversal y en el segundo la parte noreste del país que incluye Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas como área M.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 117,447 km² (36.07%) (Figura 18g); además, predice una ganancia de idoneidad de 3,398 km² (1.04%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -35.03% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 18f) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 130,931 km² (40.22%); sin embargo, predice áreas idóneas con ganancia de 1,643 km² (0.51%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -39.71% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -35.86%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en el estado de Guanajuato no se obtuvieron registros, pero se predicen buenas condiciones idóneas al noreste; además, de acuerdo a la

proyección a futuro del modelo GFDL-ESM4_SSP370 se prevé ganancia de idoneidad, siendo factible realizar la migración asistida en tales zonas de ese estado para conservar a la especie. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones del matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental, bosques secos del bajío, bosques secos del Balsas, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Sur, bosques secos sinaloenses, bosques de pino-encino centroamericanos, bosques montanos de Chiapas y bosques húmedos de Petén Veracruz.

Gutiérrez y Trejo (2014) reportan una reducción de hábitat adecuado para la especie de hasta un 87% con proyección hacia el 2050; Manzanilla *et al.* (2019) mencionan que la especie podría presentar una reducción potencial de hasta 26.9% hacia el periodo 2041-2060, siendo las zonas alpinas del Nevado de Toluca y el Pico Orizaba las más afectadas, sus resultados presentan un porcentaje cercano al de esta investigación, además agregan que la altitud será importante para la especie, prefiriendo zonas con elevaciones mayores a 100 m de su distribución actual; de manera análoga, Gómez *et al.* (2020) indican que la especie se vería beneficiada en zonas con elevaciones de hasta 500 m más alto al nivel actual de su distribución; además, Gómez *et al.* (2008) mencionan que la especie presenta vulnerabilidad siendo afectada por plagas debido a que con el incremento de temperaturas no hay suficiente frío para eliminarlas.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 18c) ocupa aproximadamente 15,832 km² que equivale casi el 75.73% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques montanos de Veracruz, localizadas en 41 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 18h) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 1,616 km² (10.21%) (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 18j) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 2,700.8 km² (17.06%) (Cuadro 7). No se predice ganancia de hábitat idóneo en ningún modelo. En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -13.50%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques montanos de Veracruz. A pesar de

que en el futuro no se predice ganancia de condiciones idóneas en el estado, la mayor parte se mantendrán (86.5%).

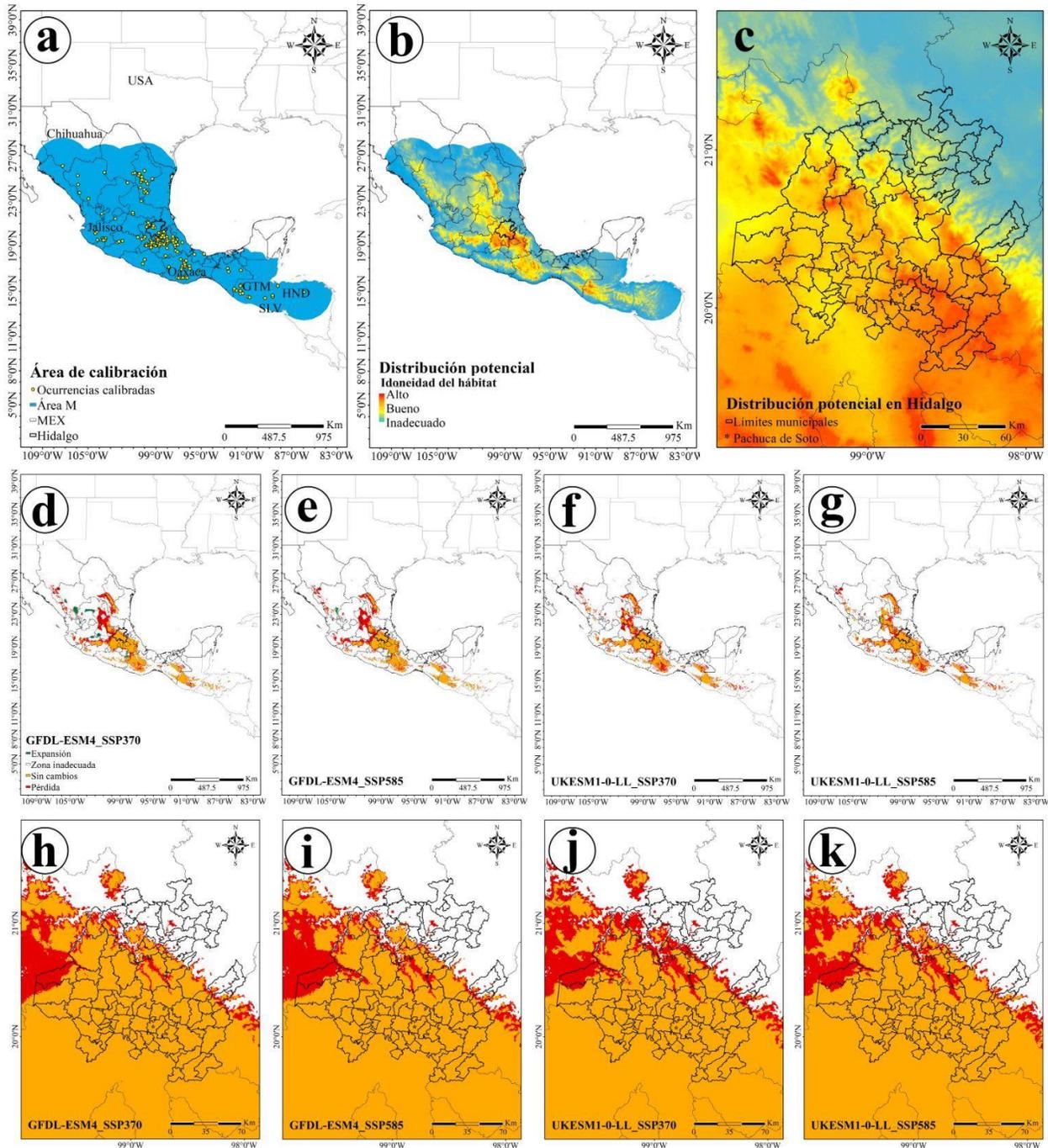


Figura 18. Área de calibración de *P. hartwegii* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus leiophylla

Nueve variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 51% (Cuadro 5). En los trabajos de Aceves *et al.* (2018) y Manzanilla *et al.* (2024) coinciden en que la variable bio1 es la más importante para el modelado de distribución potencial actual de la especie con 35.1% y 52.9% respectivamente. El área M de estudio se encuentra al este de Guatemala, gran parte de México y al suroeste de los Estados Unidos (Figura 19a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 19b) ocupa aproximadamente 426,057 km² (Cuadro 6) que equivale a casi el 0.29% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 10 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al oeste, centro y sur de México. Los mapas de distribución potencial de Bárcenas (2016) y Méndez *et al.* (2021) son los que mayor similitud presentan respecto al nuestro; de modo similar, Arreola (2016) y Aceves *et al.* (2018) presentan mayor predicción de superficie potencial al noroeste de México en la Sierra Madre Occidental y en el caso del primer autor en la Sierra Madre del Sur no se predicen condiciones de idoneidad, no obstante todos los autores anteriores sólo ocuparon la república mexicana como área M; mientras que, Cruz *et al.* (2016) a pesar de solo haber utilizado el estado de Michoacán como área M también coincide con nuestra proyección al estado de Michoacán; y por otra parte, Manzanilla *et al.* (2024) difieren parcialmente con el nuestro, sin embargo, sólo emplearon como área M la parte sur del país que conforman las provincias fisiográficas de la Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre del Sur y la subprovincia Carso Huasteco de la Sierra Madre Oriental.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 179,257 km² (42.07%) (Figura 19d); además, predice una ganancia de idoneidad de 3,292 km² (0.77%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -41.30% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 19g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 252,482 km² (59.26%); sin embargo, predice áreas idóneas con ganancia de 5,935 km² (1.39%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -57.87% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -49.51%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en los estados de Nuevo León y Tamaulipas no se obtuvieron registros, pero se predicen buenas condiciones idóneas al sur de ambos estados; además, de acuerdo a la proyección a futuro de los modelos UKESM1-0-LL_SSP370 y UKESM1-0-LL_SSP585 se prevé una leve ganancia de idoneidad hacia el estado de nuevo León, siendo factible realizar la migración asistida en tales zonas de ese estado para conservar a la especie. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de las montañas de Arizona, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Oriental, bosque de pino-encino Centroamericanos y bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Occidental.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 19c) ocupa aproximadamente 4,640 km² que equivale al 22.19% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, localizadas en 17 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 19i) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 2,704.8 km² (58.29%), además, predice una superficie de ganancia de áreas idóneas de 2.4 km²(0.05%), esto representa un cambio de hábitat adecuado de -58.24% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 19k) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 3,855.2 km² (83.09%) y no se predice ganancia de hábitat idóneo (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -73.62%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central, y bosques montanos de Veracruz. En el futuro se predice muy poca ganancia de condiciones idóneas en el estado que comprende las ecorregiones de bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y matorral de la Meseta Central; además, se prevé que solo se mantendrán el 26.38% de las condiciones idóneas actuales.

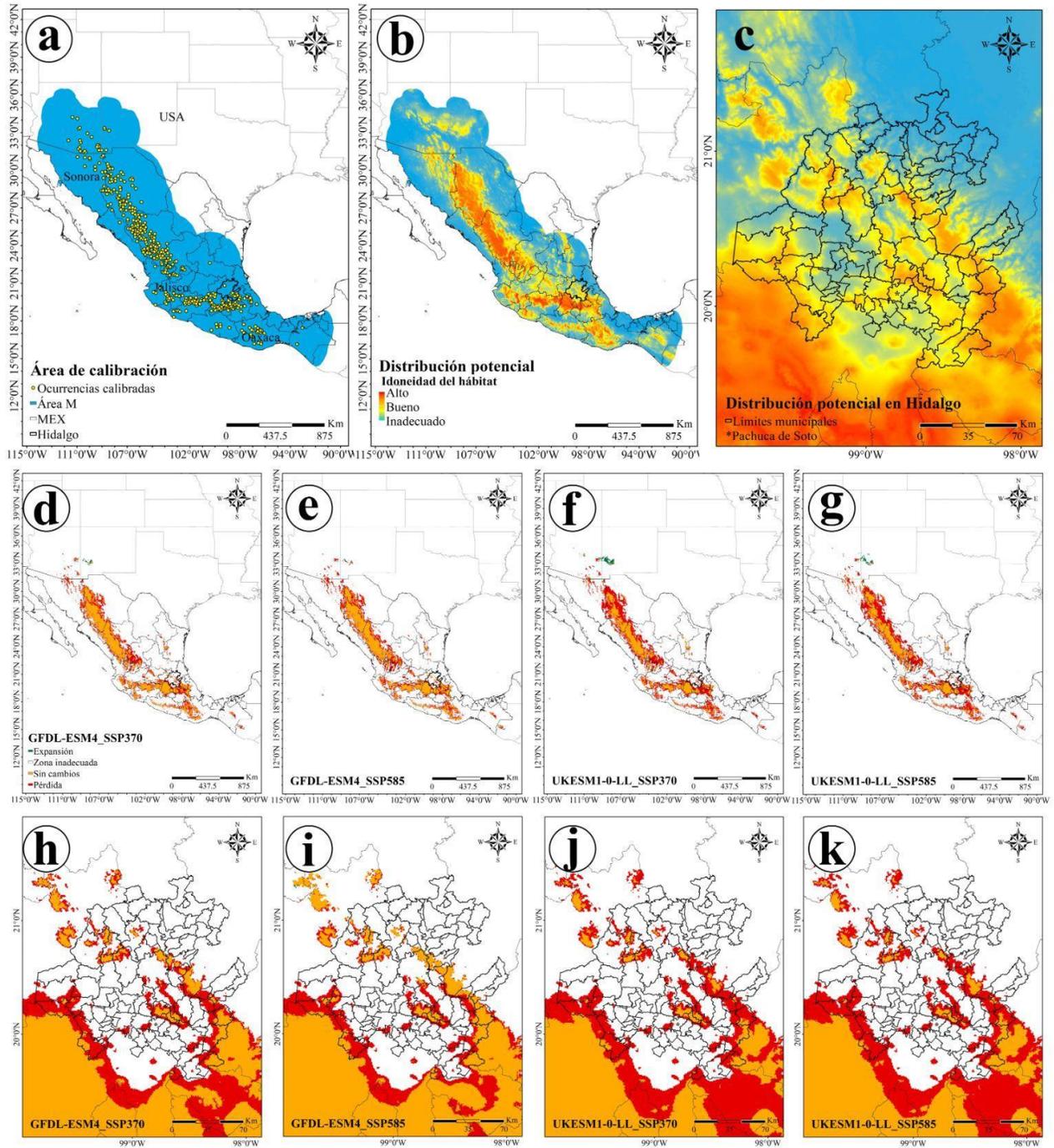


Figura 19. Área de calibración de *P. leiophylla* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus montezumae

Ocho variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 67% (Cuadro 5). En el trabajo de Manzanilla *et al.* (2019) coinciden en que la variable bio1 es una de las más importante para el modelado de distribución potencial actual de la especie con 20.5%. El área M de estudio abarca el sur de Belice, oeste de El Salvador y Honduras y gran parte del territorio de Guatemala y México (Figura 20a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 20b) ocupa aproximadamente 249,979 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.17% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 12 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al centro, norte y sur de México y en Guatemala al oeste. El mapa de distribución potencial de Bárcenas (2016) es el que mayor similitud presenta respecto a esta investigación; de modo similar, Arreola (2016), Aceves *et al.* (2018), Manzanilla *et al.* (2019) y Sáenz (2021) coinciden parcialmente (pero con menor extensión de superficie potencial), sin embargo, en el caso del primer autor al igual que en esta investigación las altas condiciones se ubican en la ecorregión de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y en los mapas de los últimos autores en la Sierra Madre Occidental se predicen de mínimas a nulas condiciones de idoneidad, no obstante todos los autores anteriores sólo ocuparon la república mexicana como área M; mientras que, Pérez *et al.* (2014), Cruz *et al.* (2016) y Gutiérrez y Trejo (2022) a pesar de sólo haber utilizado el estado de México, Michoacán y Oaxaca respectivamente como área M también coinciden con nuestra proyección a dichos estados; y por otra parte, Sánchez (2024) difiere bastante en su proyección, no obstante, sólo empleó la región noreste como área M en la que se encuentra gran parte de la Sierra Madre Oriental.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 117,818 km² (47.13%) (Figura 20f); además, predice una ganancia de idoneidad de 6,394 km² (2.56%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -44.57% (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 20d) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 130,925 km² (52.37%); sin embargo, predice áreas idóneas con ganancia de 1,774 km² (0.71%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado

para la especie en este modelo de -51.67% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -47.98%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en los estados de Sonora, Tabasco y al norte de Jalisco hay registros, pero no se predicen condiciones idóneas, lo cual se puede sugerir que sean individuos plantados. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Occidental, bosques de pino-encino de Centroamérica, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Oriental, bosques montanos de Chiapas, bosques montanos de Chimalapas y bosques montanos de Oaxaca. La gran demanda que enfrenta esta especie como recurso maderable para la fabricación de papel y madera para la elaboración de muebles y la construcción, el desgarrar de ramas para uso de leña en comunidades rurales, además de la tala clandestina implican una amenaza para las poblaciones existentes (Farjon, 2013), esto hace factible promover estrategias de conservación para la especie como la migración asistida hacia los estados de Durango y zacatecas que en la actualidad el primer estado cuenta con poca superficie potencial y en zacatecas no hay registros ni tampoco condiciones idóneas, sin embargo, en el futuro serán los principales estados con mayor superficie de áreas con ganancia de idoneidad de acuerdo a los modelos UKESM1-0-LL_SSP370 y UKESM1-0-LL_SSP585.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 20c) ocupa aproximadamente 14,795.2 km² que equivale al 70.77% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques montanos de Veracruz y matorral de la Meseta Central, localizadas en 53 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 20k) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 6,786.4 km² (45.87%) (Cuadro 7). Por otra parte, el modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 20i) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 8,291.2 km² (56.04%) y no se predice ganancia de hábitat idóneo en ningún modelo para el estado de Hidalgo (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -50.77%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad (50.77%) se prevén con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano,

bosques montanos de Veracruz, matorral de la Meseta Central y bosques húmedos de Veracruz; además, no se prevén áreas con ganancia.

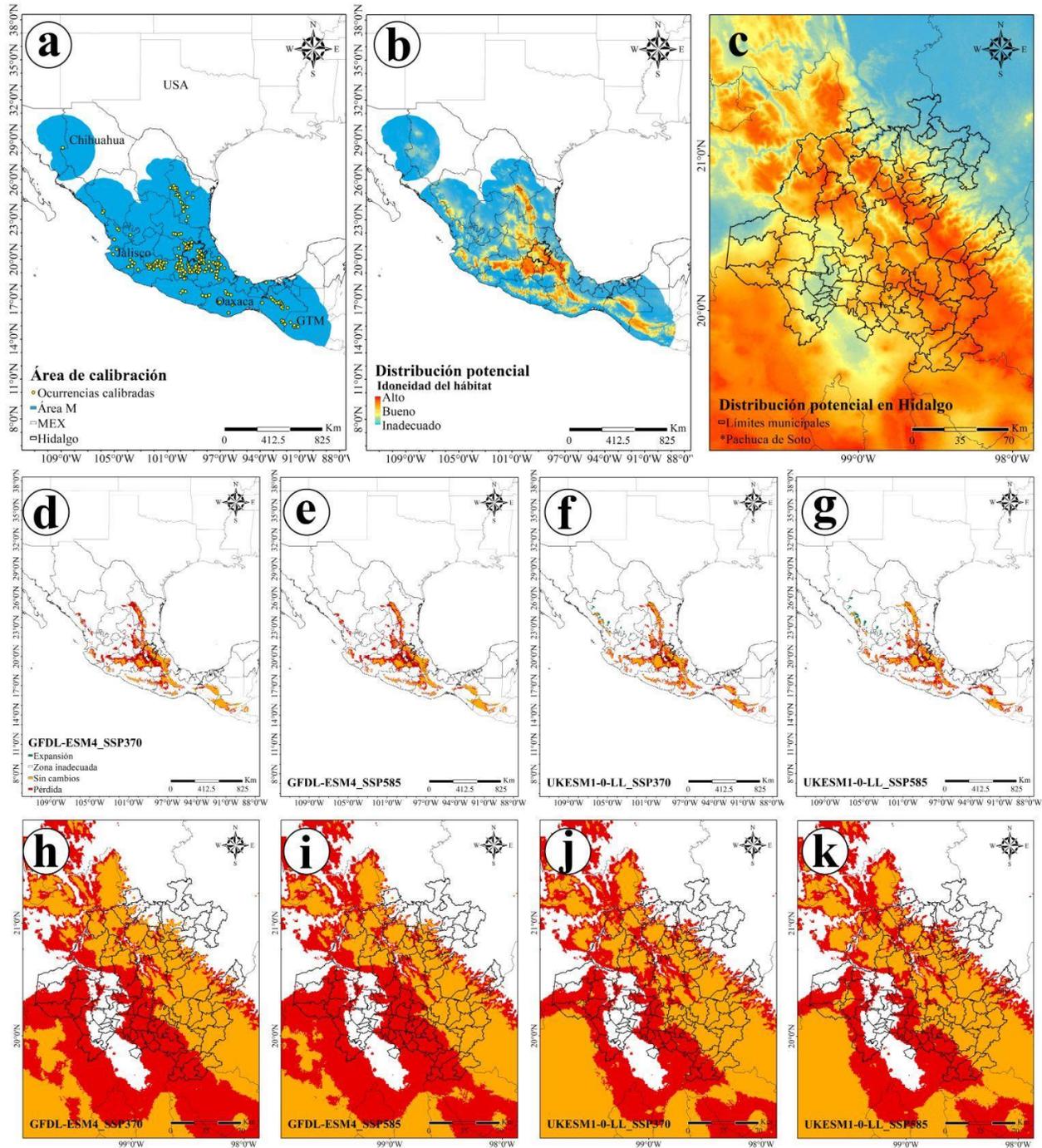


Figura 20. Área de calibración de *P. montezumae* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus oocarpa

Siete variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio12 (precipitación anual) fue la que más contribuyó al modelo con 60% (Cuadro 5). El área M de estudio abarca El Salvador, Guatemala, gran parte de Belice, Honduras, México y Nicaragua y al norte de Costa Rica (Figura 21a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 21b) ocupa aproximadamente 401,721 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.27% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 17 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al norte-sur de El Salvador, sur de Honduras y Guatemala, centro-sur de México y noroeste de Nicaragua. El mapa de distribución potencial de Aceves *et al.* (2018) es el que mayor similitud presenta respecto a esta investigación; de modo similar, Gómez *et al.* (2020) coinciden parcialmente (pero con menor extensión de superficie potencial), sin embargo, en la Sierra Madre Oriental no predice condiciones idóneas; mientras que, Reynoso *et al.* (2018) y Gutiérrez y Trejo (2022) a pesar de sólo haber utilizado el estado de Chiapas y Oaxaca respectivamente como área M coinciden en su proyección respecto a nuestros mapas en dichos estados; y por el contrario, Cruz *et al.* (2016) utilizaron el estado de Oaxaca y Romero *et al.* (2022) la parte centro del país que incluyen los estados de México, Michoacán y Oaxaca, pero difieren bastante en su proyección respecto a nuestro mapa generado.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 168,138 km² (41.85%) (Figura 21f); además, predice una ganancia de idoneidad de 65,021 km² (16.19%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -25.67% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 21g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 211,240 km² (52.58%); no obstante, predice áreas idóneas con ganancia de 68,056 km² (16.94%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -35.64% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -37.11%.

De acuerdo a los escenarios de cambio climático, las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen al sureste de México y para Nicaragua prácticamente desaparecerán las condiciones idóneas actuales. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Occidental,

bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Oriental, bosques de pino-encino de Centroamérica, bosques montanos de Centroamérica.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 21c) ocupa aproximadamente 3,781.6 km² que equivale al 18.08% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques montanos de Veracruz y bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, localizadas en 17 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 21j) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 1,269.6 km² (33.57%) (Cuadro 7), además, se prevé una ganancia de hábitat adecuado de 197.6 km² (5.23%), esto representa un cambio de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -28.34%. Por otra parte, el modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 21i) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 1,876 km² (49.61%), no obstante, se predice una ganancia de hábitat idóneo de 1.6 km² (0.04%), esto representa un cambio de hábitat adecuado para este modelo de -49.57% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -37.19%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén al noreste, con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de bosques montanos de Veracruz, bosques húmedos de Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y matorral de la Meseta Central; sin embargo, las áreas con ganancia se predicen de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques montanos de Veracruz.

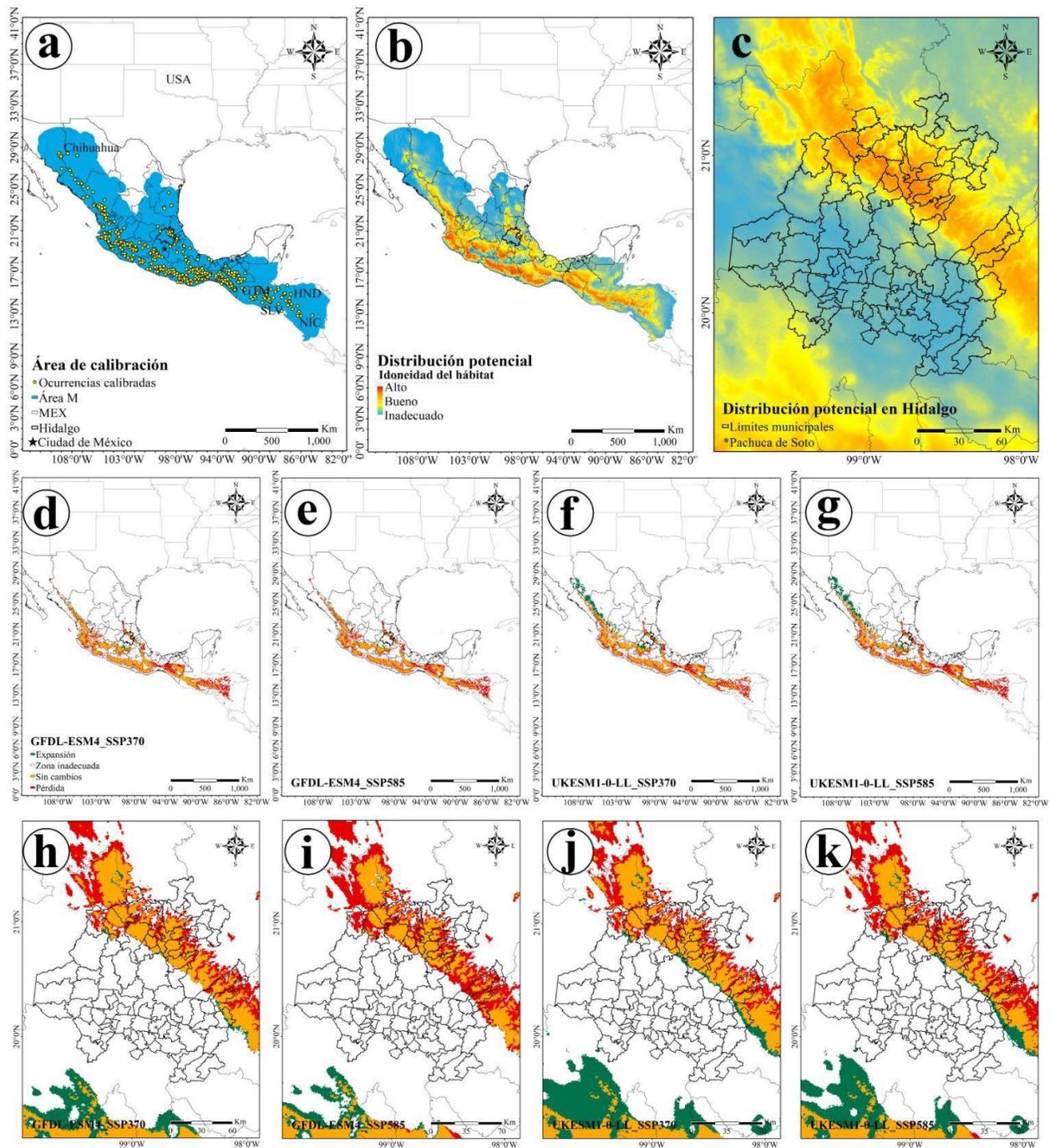


Figura 21. Área de calibración de *P. oocarpa* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus patula

Siete variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 60% (Cuadro 5). El área M de estudio abarca el oeste de Guatemala y este de México (Figura 22a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 22b) ocupa aproximadamente 148,716 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.10% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 10 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al este y sur de México. Los mapas de distribución potencial de Van *et al.* (2009), Bárcenas (2015), Arreola (2016) y Vera y Méndez (2021) son los que mayor similitud presentan respecto a esta investigación en cuanto a las altas condiciones idóneas (color rojo); de modo similar, Aceves *et al.* (2018) coinciden parcialmente (pero con menor extensión de superficie potencial); y por otra parte, Sánchez (2024) difiere parcialmente en su proyección, no obstante, sólo empleó la región noreste como área M en la que se encuentra gran parte de la Sierra Madre Oriental.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 76,579 km² (51.49%) (Figura 22f); además, predice una ganancia de idoneidad de 864 km² (0.58%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -50.91% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 22g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 95,554 km² (64.25%); no obstante, predice áreas idóneas con ganancia de 1,773 km² (1.19%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -63.06% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -56.84%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, al oeste de Guatemala no se obtuvieron registros pero se predicen áreas con buenas condiciones idóneas y de acuerdo a los escenarios de cambio climático, las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen principalmente en la parte centro y sur de México. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques montanos de Centroamérica.

Los resultados obtenidos de los escenarios de cambio climático, nos muestran que el 56.84% de la superficie idónea actual en el futuro se perderá, esto concuerda con Castillo *et al.* (2020)

quienes reportan que esta especie disminuirá su área de distribución debido al cambio climático, y como consecuencia se verá limitada a zonas de mayor elevación altitudinal.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 22c) ocupa aproximadamente 9,617.6 km² que equivale al 46.00% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y matorral de la Meseta Central, localizadas en 34 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 22j) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 4,980.8 km² (51.79%) (Cuadro 7). Por otra parte, el modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 22i) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 5,919.2 km² (61.55%), además, no se predicen áreas con ganancia en ningún modelo para el estado (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -56.20%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al sureste, norte y oeste, en las ecorregiones de bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques montanos de Veracruz y bosques húmedos de Veracruz; además, no se predicen áreas con ganancia.

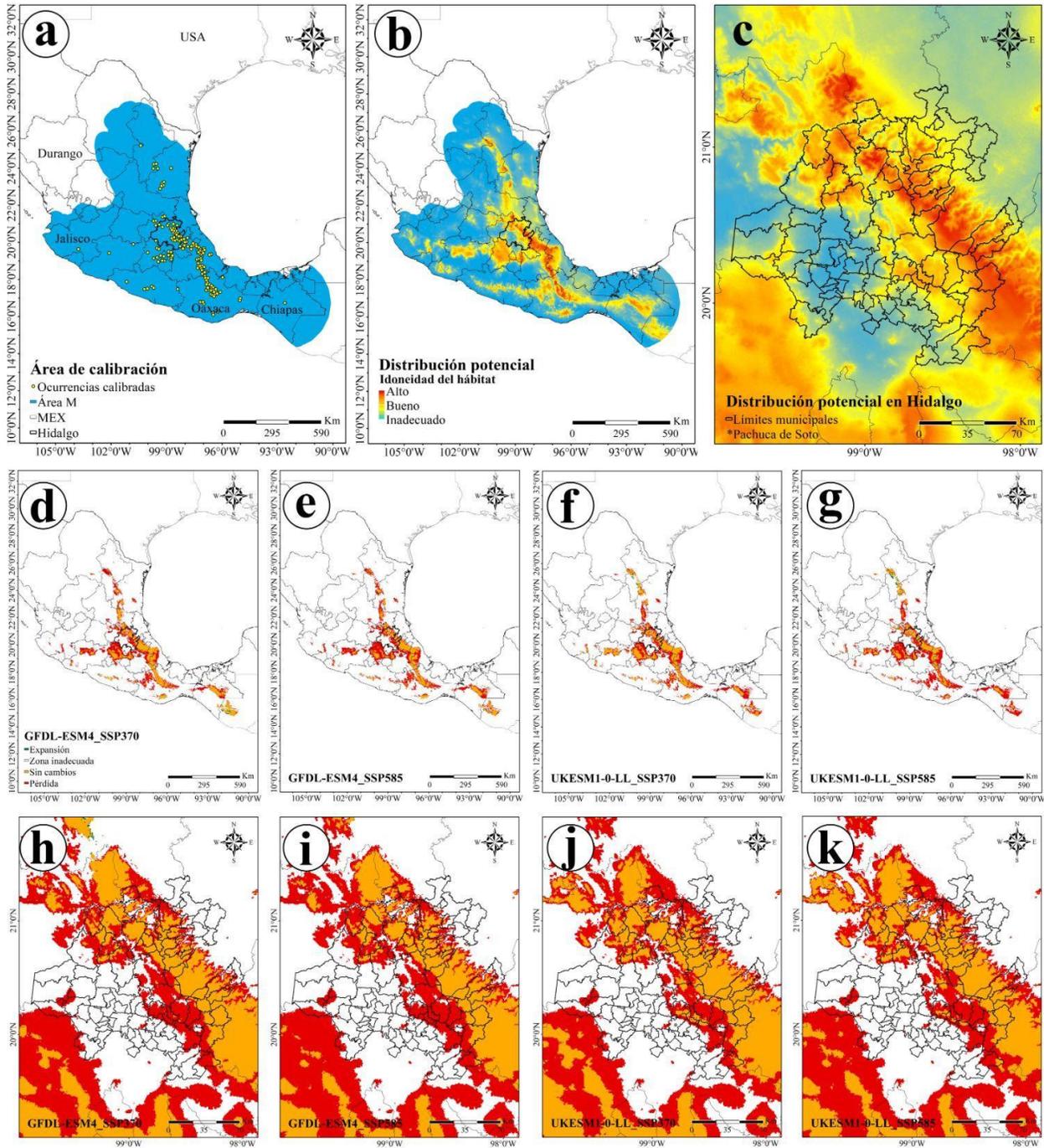


Figura 22. Área de calibración de *P. patula* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus pinceana

Cinco variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio3 (isotermalidad) fue la que más contribuyó al modelo con 52%, seguida por la bio15 (estacionalidad de la precipitación) con 43% (Cuadro 5). El área M de estudio abarca el sur de Estados Unidos y al noreste y centro de México principalmente (Figura 23a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 23b) ocupa aproximadamente 129,712 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.08% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en seis ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al norte y centro de México. El mapa de distribución potencial de Sosa (2017) presenta mayor similitud respecto a esta investigación, principalmente en las altas condiciones idóneas; de modo similar, Bárcenas (2015) y Pérez y Méndez (2019) coinciden parcialmente; por otra parte, López *et al.* (2018) y Sánchez (2024) coinciden en su proyección, a pesar de solo haber empleado la región noreste de México como área M en la que se encuentra gran parte de la Sierra Madre Oriental; por el contrario Pérez *et al.* (2019) coincide parcialmente en las condiciones buenas y altas respecto a esta investigación, sin embargo, predice mayor área potencial cuando se agregan las condiciones de categoría baja (361,872.97 km²).

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 75,865 km² (58.49%) (Figura 23d); además, predice mayor ganancia de idoneidad con 22,812 km² (17.59%), esto representa un cambio positivo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -40.90% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 23g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 85,250 km² (65.72%); no obstante, predice áreas idóneas con ganancia de 12,552 km² (9.68%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -56.05% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -49.71%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, a pesar de que en los estados de Guanajuato, Nuevo León y Tamaulipas no se obtuvieron registros se predicen áreas con altas condiciones idóneas y de acuerdo a los escenarios de cambio climático, en el futuro incluso ganarán áreas con idoneidad. Las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen principalmente en la parte centro y norte de México. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie en el norte y centro del país, localizadas en las ecorregiones del matorral de la Meseta

Central, los bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Oriental, matorral de la Meseta Central, matorral Central Mexicano y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano.

A pesar de que se predice una reducción del 49.71% en el hábitat adecuado a nivel global, también habrá áreas con ganancia, esto es consistente con Martiñón *et al.* (2010), quienes plantean que *P. pinceana* es capaz de responder a las condiciones adversas como la sequía o altas temperaturas que le produzcan estrés, administrando la cantidad de biomasa necesaria y el engrosamiento del tallo, siendo esta una adaptación que le permitirá a la especie subsistir al menos durante las primeras fases del cambio climático en las que las temperaturas promedio no superen los 2 °C.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías altas (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 23c) ocupa aproximadamente 2,481.6 km² que equivale al 11.87% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral Central Mexicano y matorral de la Meseta Central, localizadas en siete municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 1,108.8 km² (44.68%) (Figura 23h); además, predice mayor ganancia de idoneidad con 1,252 km² (50.45%), esto representa un cambio positivo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de 5.77% (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 23i) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 2,365.6 km² (95.33%); no obstante, predice áreas idóneas con ganancia de 313.6 km² (12.64%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -82.69% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -52.53%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al noroeste y centro, en las ecorregiones de bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques montanos de Veracruz; sin embargo, las áreas con ganancia se predicen de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques montanos de Veracruz.

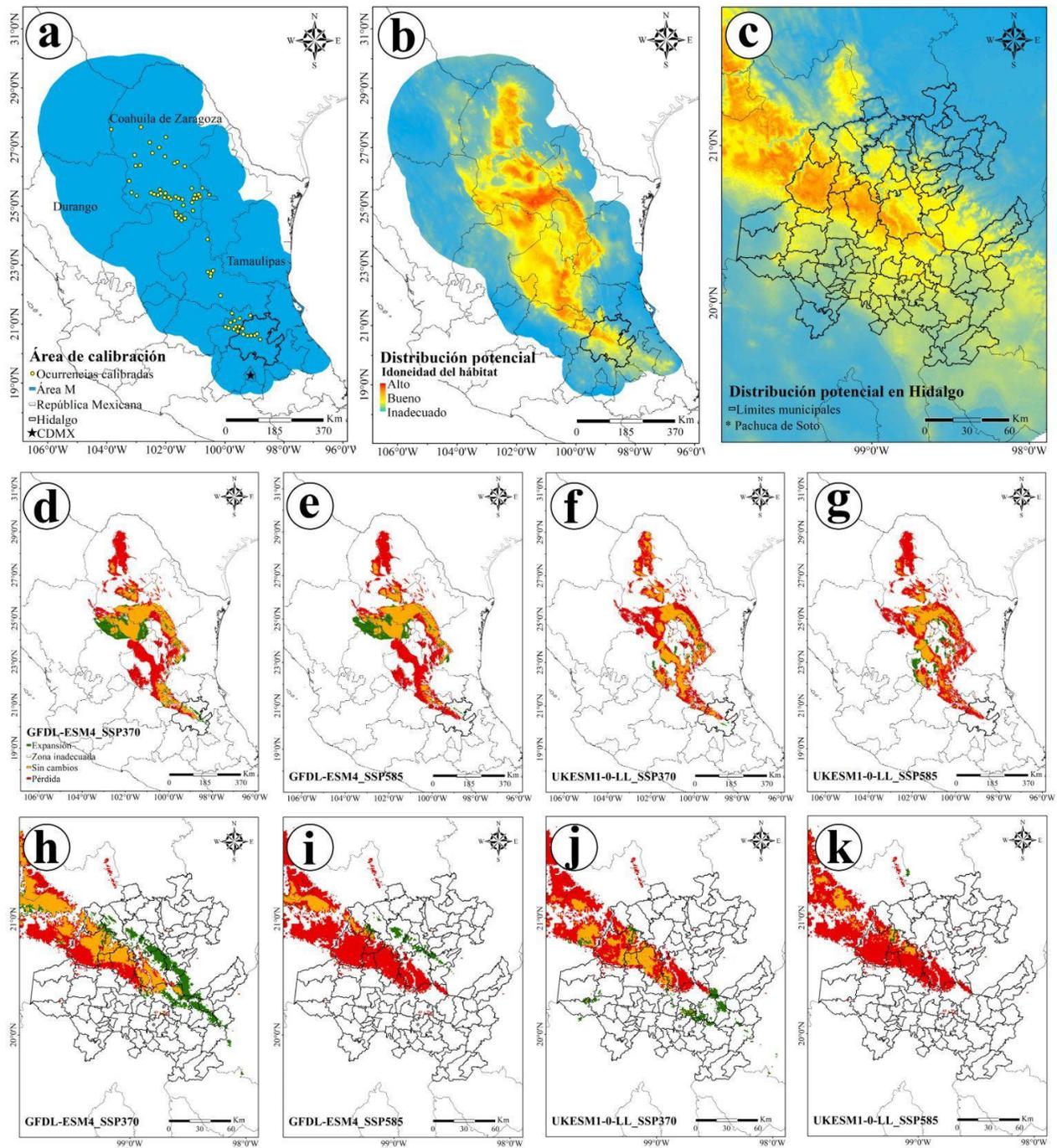


Figura 23. Área de calibración de *P. pinceana* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pinus pseudostrobus

Seis variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 59% (Cuadro 5). El área M de estudio abarca los países de El Salvador, Guatemala, gran parte del territorio de Belice, Honduras, México, el sur de Estados Unidos y al noroeste de Nicaragua (Figura 24a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 24b) ocupa aproximadamente 269,663 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.18% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 18 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al centro, sur y norte de México y en los países de Guatemala (al sur) y Honduras (al suroeste). El mapa de distribución potencial de Aceves *et al.* (2018) y Téllez *et al.* (2004) presentan mayor similitud respecto a esta investigación; de modo similar, Arreola (2016), Manzanilla *et al.* (2019), Gómez *et al.* (2020) y Solís y Méndez (2021) coinciden parcialmente; por otra parte, Manzanilla *et al.* (2024) y Sánchez (2024) coinciden en su proyección, a pesar de solo haber empleado la región noreste de México como área M en la que se encuentra gran parte de la Sierra Madre Oriental; de modo similar Cruz *et al.* (2016), Ramos *et al.* (2017), Reynoso *et al.* (2018), Barrera (2020), Manzanilla (2021) y Manzanilla y Treviño (2024) utilizaron el estado de Michoacán, Puebla, Chiapas, Chiapas y Michoacán y en los últimos dos trabajos el estado de Nuevo León para modelar la especie como área M respectivamente, sin embargo coinciden en su proyección respecto a este trabajo hacia dichos estados.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 128,904 km² (47.80%) (Figura 24f); además, predice una ganancia de idoneidad con 7,861 km² (2.92%), esto representa un cambio positivo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -44.89% (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 24d) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 141,846 km² (52.60%); no obstante, predice áreas idóneas con ganancia de 913 km² (0.34%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -52.26% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -47.70%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, a pesar de que en Nicaragua no se obtuvieron registros se predicen áreas con buenas condiciones idóneas; sin embargo, de acuerdo a los escenarios de cambio climático en el futuro podrían perder esas áreas con idoneidad. Las áreas con pérdida de

idoneidad en el futuro se predicen principalmente en la parte centro, sur y norte de México. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie al oeste del país, localizadas en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Occidental, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Oriental, matorral de la Meseta Central, matorral Central Mexicano y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 24c) ocupa aproximadamente 11,274.4 km² que equivale al 53.93% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques montanos de Veracruz, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y matorral Central Mexicano, localizadas en 44 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo UKESM1-0-LL_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 4,920 km² (43.64%) (Figura 24k) (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 24i) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 5,444.8 km² (48.29%); además, no se predicen áreas idóneas con ganancia (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -46.54%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al noroeste, centro y suroeste en las ecorregiones de matorral Central Mexicano, bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral de la Meseta Central, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral de la Meseta Central y bosques húmedos de Veracruz; además, no se predicen áreas con ganancia de idoneidad.

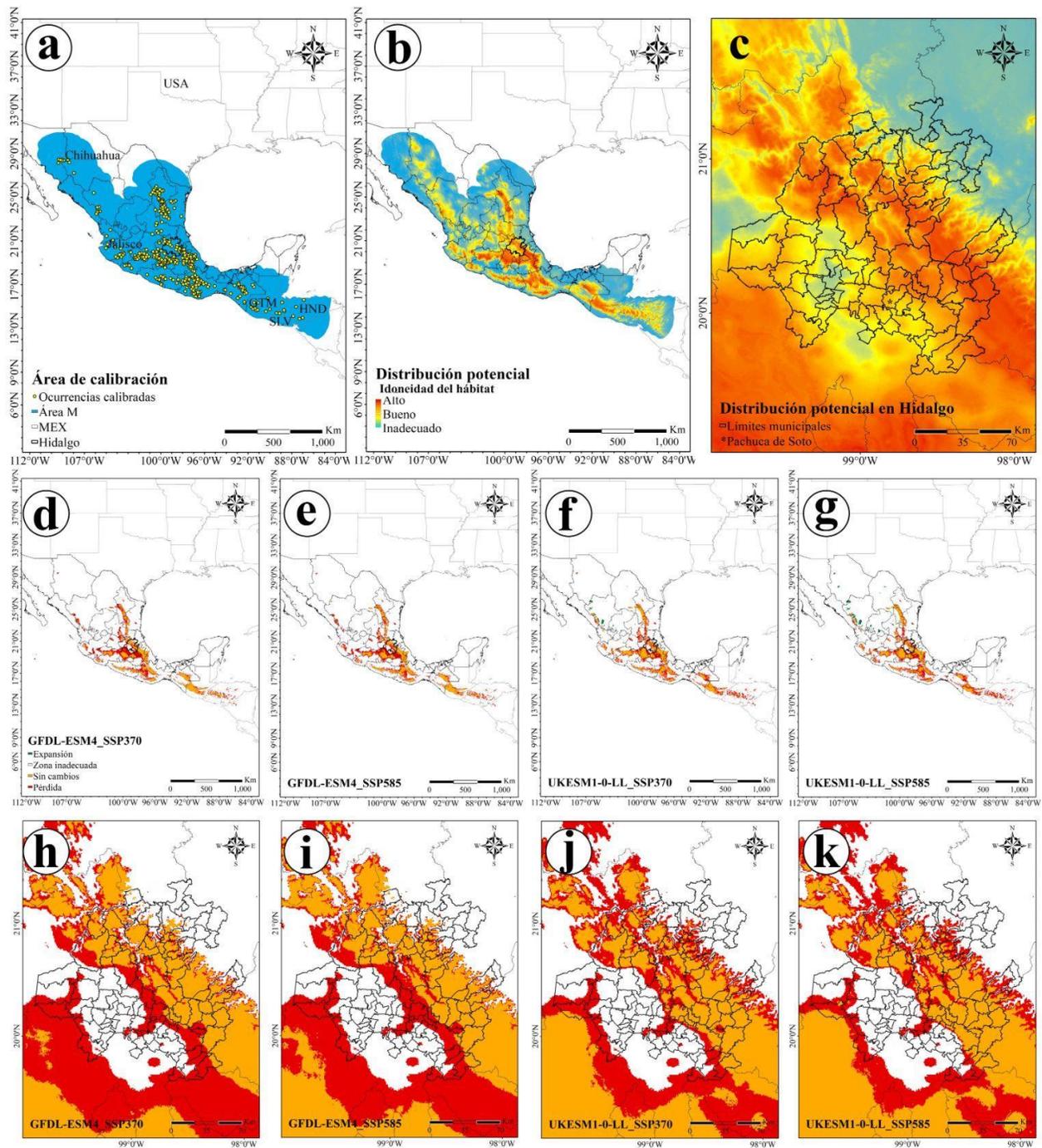


Figura 24. Área de calibración de *P. pseudostrobus* **a**), distribución potencial global **b**), distribución potencial en el estado de Hidalgo **c**), escenarios climáticos a nivel global **d-g**), escenarios climáticos a nivel estatal **h-k**).

Pinus teocote

Siete variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 68% (Cuadro 5). El área M de estudio abarca gran parte del territorio de Guatemala, México y al sur de los Estados Unidos (Figura 25a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 25b) ocupa aproximadamente 328,498 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.22% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 13 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al centro, norte y sur de México y sur de Guatemala. El mapa de distribución potencial de Méndez *et al.* (2021) es el que mejor coincide con esta investigación; por otra parte, Arreola (2016) y Aceves *et al.* (2018) y difieren parcialmente respecto a esta investigación, ya que en su mapa se predicen mayormente la condiciones idóneas al oeste de México, en la Sierra madre Occidental; Sánchez (2024) coinciden en su proyección a pesar de solo haber empleado la región noreste de México como área M en la que se encuentra gran parte de la Sierra Madre Oriental; de modo similar Cruz *et al.* (2016), Ramos *et al.* (2017), Manzanilla (2021) y Manzanilla y Treviño (2024) utilizaron el estado de Michoacán, Puebla y Nuevo León en los últimos dos trabajos respectivamente para modelar la especie como área M respectivamente, sin embargo coinciden en su proyección respecto a este trabajo hacia dichos estados.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 138,580 km² (42.19%) (Figura 25d); además, predice una ganancia de idoneidad con 632 km² (0.19%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -41.99% (Cuadro 7). Coincidentemente los modelos GFDL-ESM4_SSP585 (Figura 25e) y UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 25g) predicen los mismos valores, pero no en la proyección espacial; sin embargo, son los que mayor pérdida de hábitat idóneo presentan con 182,334 km² (53.81%); no obstante, predicen mayor superficie de áreas idóneas con ganancia respecto a los otros dos modelos con 3,284 km² (0.97%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en estos modelos con -52.84% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio negativo de hábitat adecuado de -49.48%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, al oeste de Yucatán hay un registro en solitario y no se predicen áreas con condiciones idóneas; aunque, parece ser un valor atípico (outlier)

originado por un posible fallo en el análisis de CoordinateCleaner derivado de un error en las coordenadas de la base de datos y la inspección manual; de acuerdo a Simões & Peterson (2018), cuando se tiene un gran conjunto de datos, la identificación de los valores atípicos resulta más eficiente, y de acuerdo a la literatura consultada (Villaseñor, 2016; Farjon, 2017; Earle, 2024) ese punto en el mapa no pertenece a su distribución natural; sin embargo, aunque nuestro mapa es consistente y no difiere significativamente respecto a lo reportado en la proyección espacial de los autores citados anteriormente sobre la distribución potencial de la especie, es recomendable realizar nuevamente modelos de esta especie en particular para corregir un posible sesgo espacial. Las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen al sur de Guatemala y de mayor a menor superficie en la parte noroeste, sur y centro de México. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie al noreste del país, localizadas en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Oriental, matorral Central Mexicano y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 25c) ocupa aproximadamente 13,596.8 km² que equivale al 65.04% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral de la Meseta Central, bosques montanos de Veracruz y matorral Central Mexicano, localizadas en 54 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo UKESM1-0-LL_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 4,230.4 km² (31.11%) (Figura 25k) (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP370 (Figura 25j) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 5,172.8 km² (38.04%); además, no se predicen áreas idóneas con ganancia (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -33.07%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al sur y norte, en las ecorregiones del matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central, bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano; sin embargo, el modelo GFDL-ESM4_SSP585 predice áreas con ganancia de idoneidad en la ecorregión de los bosques montanos de Veracruz.

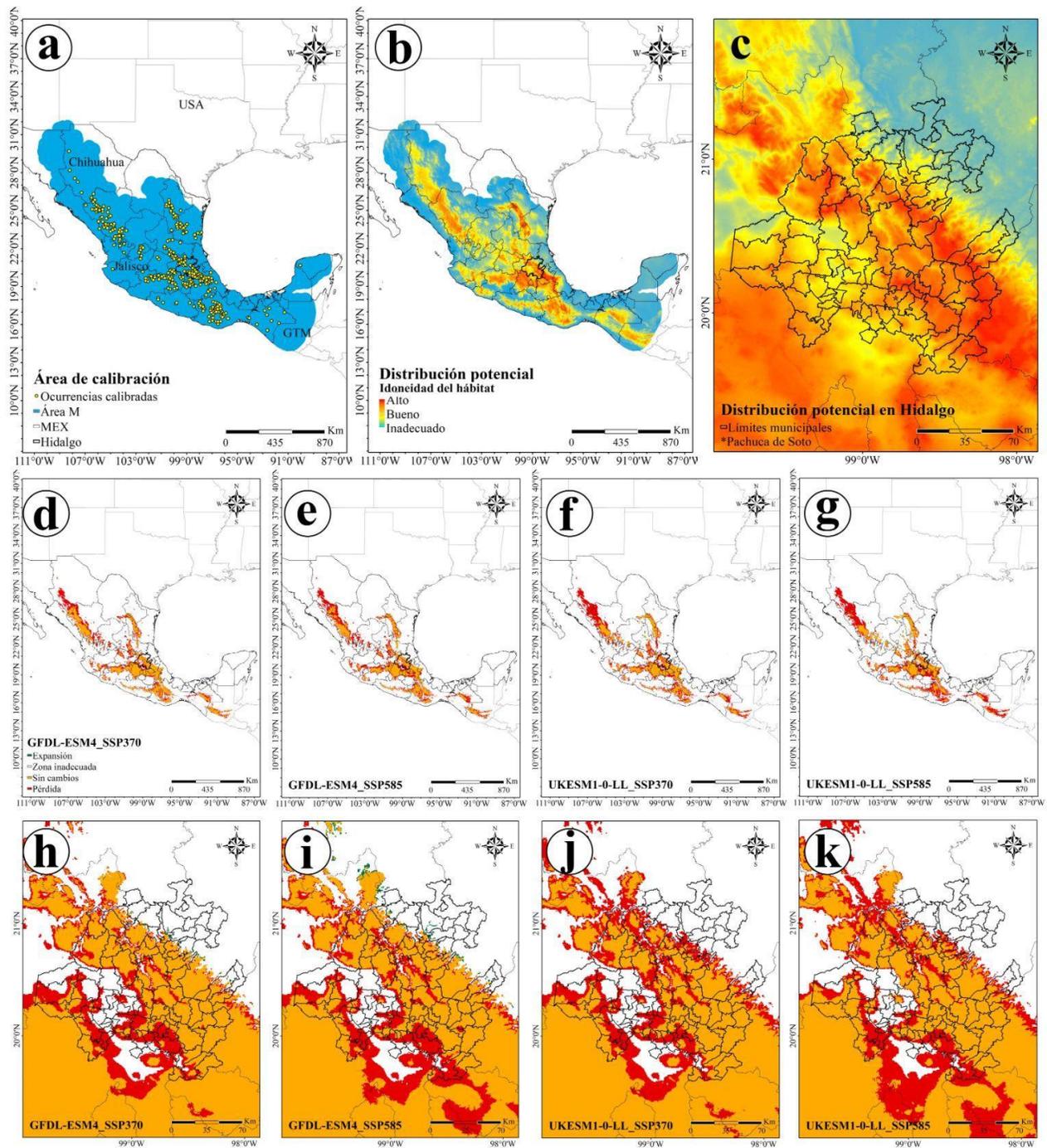


Figura 25. Área de calibración de *P. teocote* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Podocarpus matudae

Seis variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio12 (precipitación anual) fue la que más contribuyó al modelo con 72% (Cuadro 5). El área M de estudio abarca los países de El Salvador, Guatemala, gran parte del territorio de Belice, Honduras, México y al noroeste de Nicaragua (Figura 26a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 26b) ocupa aproximadamente 268,199 km² (Cuadro 6) que equivale al 0.18% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 16 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al sur y centro de México y en los países de Guatemala (al sur) y Honduras (al oeste).

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 128,210 km² (47.80%) (Figura 26f); además, predice una ganancia de idoneidad con 101,607 km² (37.89%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -9.92% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 26g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 172,694 km² (64.39%); no obstante, predice áreas idóneas con ganancia de 117,669 km² (43.87%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -20.52% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -33.07%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en los países de México (al sureste del estado de Nuevo León) y Nicaragua (al noroeste) no se obtuvieron registros, pero se predicen áreas con buenas condiciones idóneas; además, en los modelos UKESM1-0-LL_SSP370 y UKESM1-0-LL_SSP585 se predice que incluso podrían ganar áreas idóneas en esas zonas. Las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen de mayor a menor superficie en el sureste, centro y norte de México. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie al sureste, sur, oeste y noreste de México, sur de Guatemala, sureste de El Salvador, sur de Honduras y oeste de Nicaragua, localizadas en las ecorregiones de los bosques húmedos de Petén-Veracruz, Pantanos de Centla, bosques secos del Balsas, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Occidental, bosques secos del sureste del Pacífico, bosques secos de Veracruz, bosques secos Centroamericanos, bosques secos de la depresión del Balsas, manglares del Pacífico mesoamericano meridional, bosques secos de Sinaloa, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental,

manglares del Pacífico mesoamericano septentrional, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques secos de Jalisco.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 26c) ocupa aproximadamente 5,924 km² que equivale a cerca del 28.34% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques húmedos de Veracruz, localizadas en 23 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 26h) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 1,836.8 km² (31.00%) (Cuadro 7); además, predice una ganancia de idoneidad con 8.8 km² (0.15%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -30.85% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 26k) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 2,944.8 km² (49.71%); sin embargo, se predicen áreas idóneas con ganancia de 19.2 km² (0.32%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado en este modelo con -49.39% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -40.06%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén principalmente al noroeste, en las ecorregiones de los bosques húmedos de Veracruz, bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral de la Meseta Central y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano; sin embargo, las pocas áreas con ganancia de idoneidad se predicen en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, que coinciden en los municipios del estado de Hidalgo de mayor a menor superficie en Zimapán, Metztitlán, Acaxochitlán, San Agustín Metzquititlán, Agua Blanca de Iturbide, Metepec, Tenango de Doria, Nicolás Flores, Zacualtipán de Ángeles, San Bartolo Tutotepec y Cuauhtepic de Hinojosa. Este representa el primer trabajo sobre modelado de distribución potencial y escenarios de cambio climático para la especie a nivel mundial y estatal.

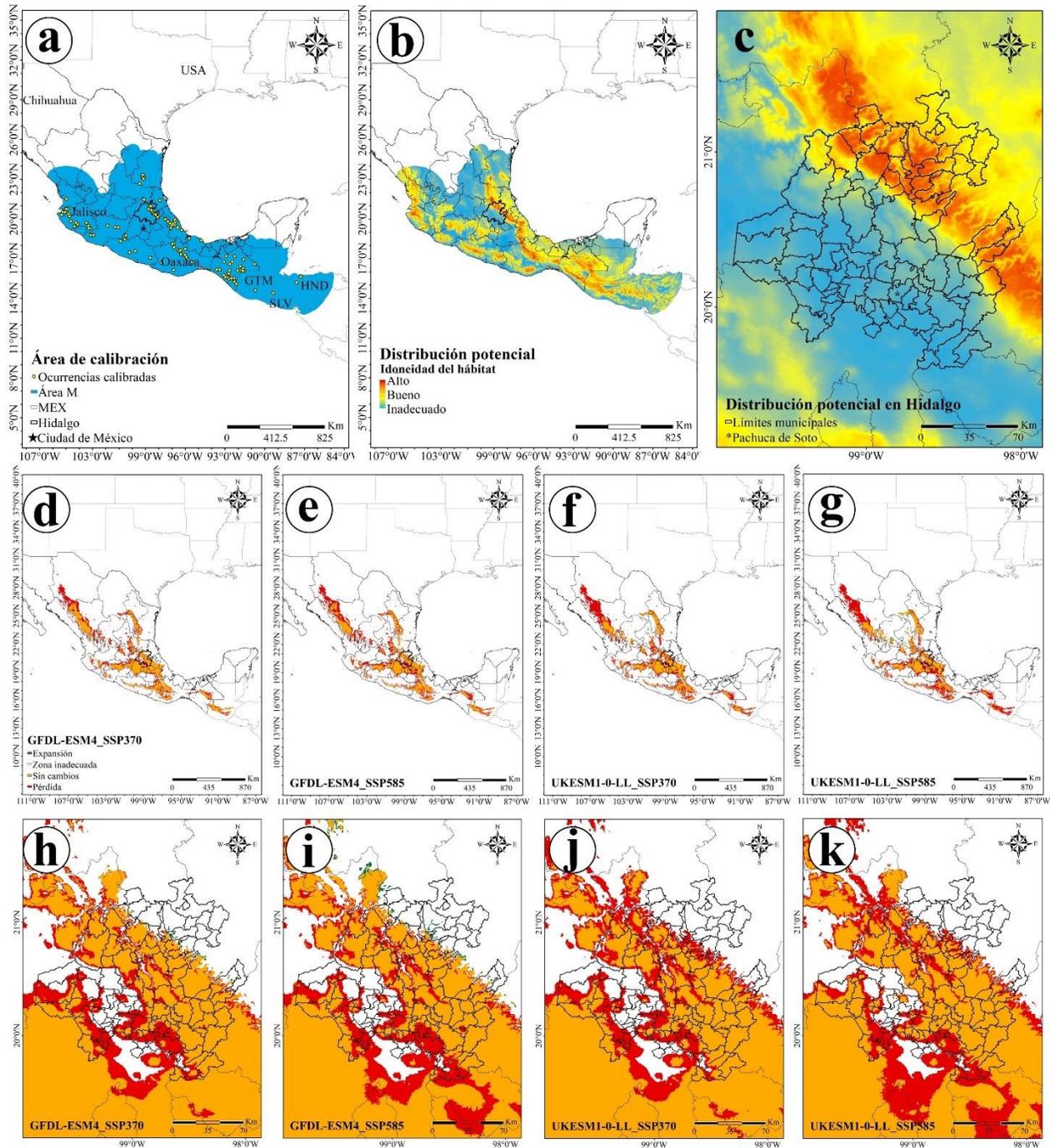


Figura 26. Área de calibración de *P. matudae* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Pseudotsuga menziesii

11 variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 16% (Cuadro 5), en el trabajo de Rodríguez *et al.* (2024) coinciden en que la variable bio1 es la variable más determinante en la idoneidad ambiental y distribución de la especie con 59.5%. El área M de estudio abarca el oeste y este de los Estados Unidos, gran parte del territorio de México y al suroeste de Canadá (Figura 27a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 27b) ocupa aproximadamente 2,594,279 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 1.75% de la superficie terrestre, siendo la especie con mayor superficie potencial predicha de las especies estudiadas en este trabajo de investigación. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 31 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al oeste de Estados Unidos, suroeste de Canadá y al noroeste, norte y centro de México. La proyección espacial del mapa de distribución potencial de Rodríguez *et al.* (2024) es consistente con esta investigación.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 606,048 km² (23.36%) (Figura 27e); además, es el que predice mayor ganancia de idoneidad con 133,636 km² (5.15%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -18.21% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 27g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 1,294,922 km² (49.92%); no obstante, predice una superficie de áreas idóneas con ganancia de 83,595 km² (3.22%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo con -46.69% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -33.45%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, en Estados Unidos hay registros en los estados de Carolina del Sur, Georgia, Illinois, Indiana, Iowa, Kansas y Texas; y en México en los estados de Coahuila (al noroeste), Michoacán (al sur) y Sonora (en el centro) en los que no se predicen áreas con buenas condiciones idóneas, esto podría deberse a valores atípicos o a que posiblemente correspondan a individuos plantados. En general las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen en la parte este de la distribución potencial. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie al suroeste de Canadá, centro de estados Unidos y México, y coinciden con las ecorregiones del complejo de la meseta y cuenca del Fraser, bosques de sotavento de las Montañas Cascade, bosques costeros continentales de Columbia Británica, bosques costeros del

Pacífico central, bosques de las montañas rocosas de Colorado, pastizales cortos occidentales y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano.

Rodríguez *et al.* (2024) coinciden en que la especie se ve favorecida en zonas montañosas con bajas temperaturas, por lo tanto la predicción de su disminución de hábitat mayor al 78% según los escenarios de cambio climático de esta investigación, hace necesario realizar estrategias de conservación como lo son las reforestaciones y la migración asistida en zonas con áreas de ganancia de idoneidad, que se prevén principalmente en las zonas montañosas del suroeste de Canadá, parte del centro de Estados Unidos y en México en la parte del Eje Volcánico Transversal; esto en atención a uno de los puntos más importantes en este estudio debido a que se trata de una especie en Protección especial de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2016 (Cuadro 1).

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 27c) ocupa aproximadamente 5,018.4 km² que equivale al 24% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, localizadas en 17 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 3,053.6 km² (60.85%) (Figura 27h) (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 27k) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 4,819.2 km² (96.03%); además, no se predicen áreas idóneas con ganancia en ningún escenario (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio de hábitat adecuado de -78.03%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al sureste, noroeste y suroeste, en las ecorregiones del matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral de la Meseta Central y bosques montanos de Veracruz.

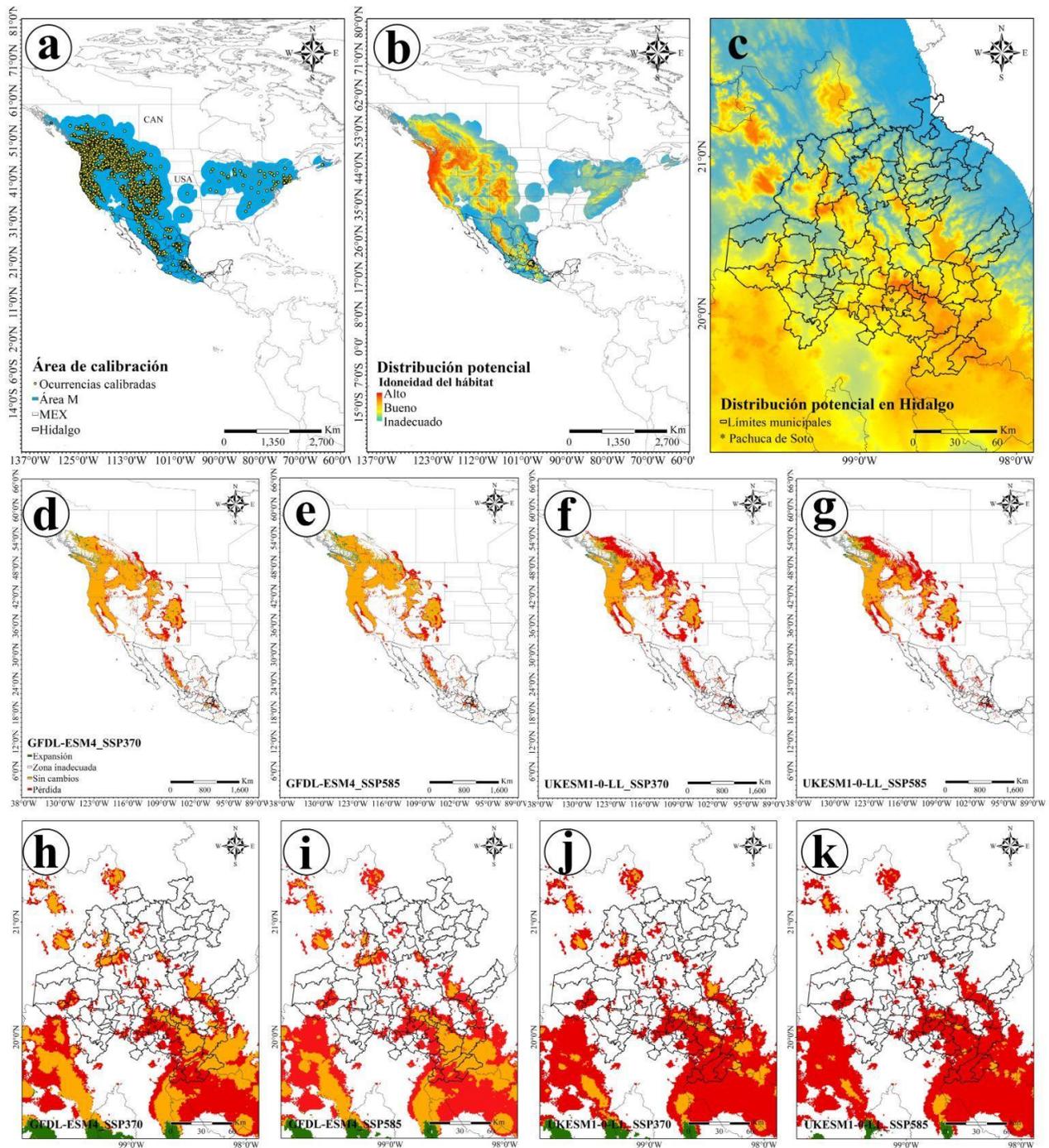


Figura 27. Área de calibración de *P. menziesii* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Taxodium huegelii

Ocho variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio7 (rango anual de temperatura) fue la que más contribuyó al modelo con 38% (Cuadro 5). De acuerdo con Correa *et al.* (2014) concuerdan que las variables relacionadas con el clima son de suma importancia para la ecofisiología de la especie. El área M de estudio abarca el sur de Belice, gran parte de El Salvador y sur de los Estados Unidos, Guatemala, oeste de Honduras y gran parte del territorio de México (Figura 28a).

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 28b) ocupa aproximadamente 448,101 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.30% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 20 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al sur, centro, norte y oeste de México y en Guatemala se predicen principalmente al sur. Los mapas de distribución potencial en los trabajos de Ponce (2019), Crisantos de la Rosa (2020) y Martínez (2021) coinciden parcialmente con esta investigación.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo GFDL-ESM4_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 101,889 km² (22.74%) (Figura 28e); además, predice ganancia de idoneidad con 133,737 km² (29.85%), esto representa un cambio positivo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de 7.11% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 28g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 150,695 km² (33.63%); no obstante, es el modelo que predice mayor superficie de áreas idóneas con ganancia de 220,233 km² (49.15%), esto representa un cambio positivo de hábitat adecuado para la especie en este modelo con 15.52% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio positivo de hábitat adecuado de 6.90%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, existen buenas y altas condiciones idóneas en gran parte de la república mexicana, a excepción de las penínsulas de Baja California y Yucatán en las que tampoco se obtuvieron registros; y por otra parte, en el estado de Tabasco hay registros de la especie pero no se predicen buenas condiciones idóneas en ese estado, esto podría deberse a valores atípicos o a que posiblemente correspondan a individuos plantados. En general las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen de mayor a menor superficie en la parte noreste, noroeste, sur y sureste de México; en gran parte de la distribución potencial actual del sureste de Estados Unidos y al este de Guatemala. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie al noreste, centro y sureste de México, y en Guatemala y Estados Unidos en las

zonas contiguas de su distribución potencial actual y coinciden con las ecorregiones del matorral de la Meseta Central, matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, desierto Chihuahuense, mezquital Tamaulipeco, bosques de pino-encino de Centroamérica, Pastizales costeros del Golfo Occidental, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Sur, bosques de pino-encino de la Sierra Madre de Oaxaca, bosques Montanos de Veracruz, bosques húmedos de Veracruz, Matorral del valle de Tehuacán, bosques de pino-encino de la Sierra Madre occidental y Bosques secos de Sinaloa.

A pesar que se predice de manera general un cambio positivo de hábitat adecuado para la especie con 20.10%, la contaminación y disminución de los cuerpos de agua, construcción de presas, extracción de agua para uso agrícola, cambio de uso de suelo (Ceccon, 2023; Villanueva-Díaz *et al.* 2014), así como la construcción de terrazas fluviales (Enríquez y Suzán, 2011) disminuyen la superficie ocupada de los ecosistemas riparios donde se distribuye la especie de manera natural, sumándole el impacto en la reducción de áreas potenciales por el cambio climático; por lo tanto, las áreas con altas condiciones idóneas y de ganancia serán importantes considerar para la conservación de la especie donde se localizan cuerpos de agua.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 28c) ocupa aproximadamente 14,168 km² que equivale al 67.77% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de matorral Central Mexicano, matorral de la Meseta Central, los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques montanos de Veracruz, localizadas en 38 municipios (ANEXO 2). En el trabajo de Canales *et al.* (2022) reportan altas condiciones idóneas para 31 municipios en el estado; sin embargo, debido a que se trata de una especie característica de vegetación riparia, coinciden en que los registros obtenidos en su estudio se localizan particularmente a orillas de cuerpos de agua.

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP585 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 429.6 km² (38.13%) (Figura 28i) (Cuadro 7). El modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 28h) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 3,139.2 km² (22.16%); sin embargo, se predicen áreas idóneas con ganancia en 3,300.8 km² (23.29%), esto representa un cambio positivo de hábitat idóneo para la especie de 1.13% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio positivo de hábitat adecuado de 20.10%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al suroeste y noreste, en las ecorregiones del matorral Central Mexicano, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques montanos de Veracruz y bosques húmedos de Veracruz. Por otra parte, las áreas con ganancia de condiciones idóneas se predicen de mayor a menor superficie en la parte este o oeste, donde coinciden las ecorregiones de los bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y bosques húmedos de Veracruz.

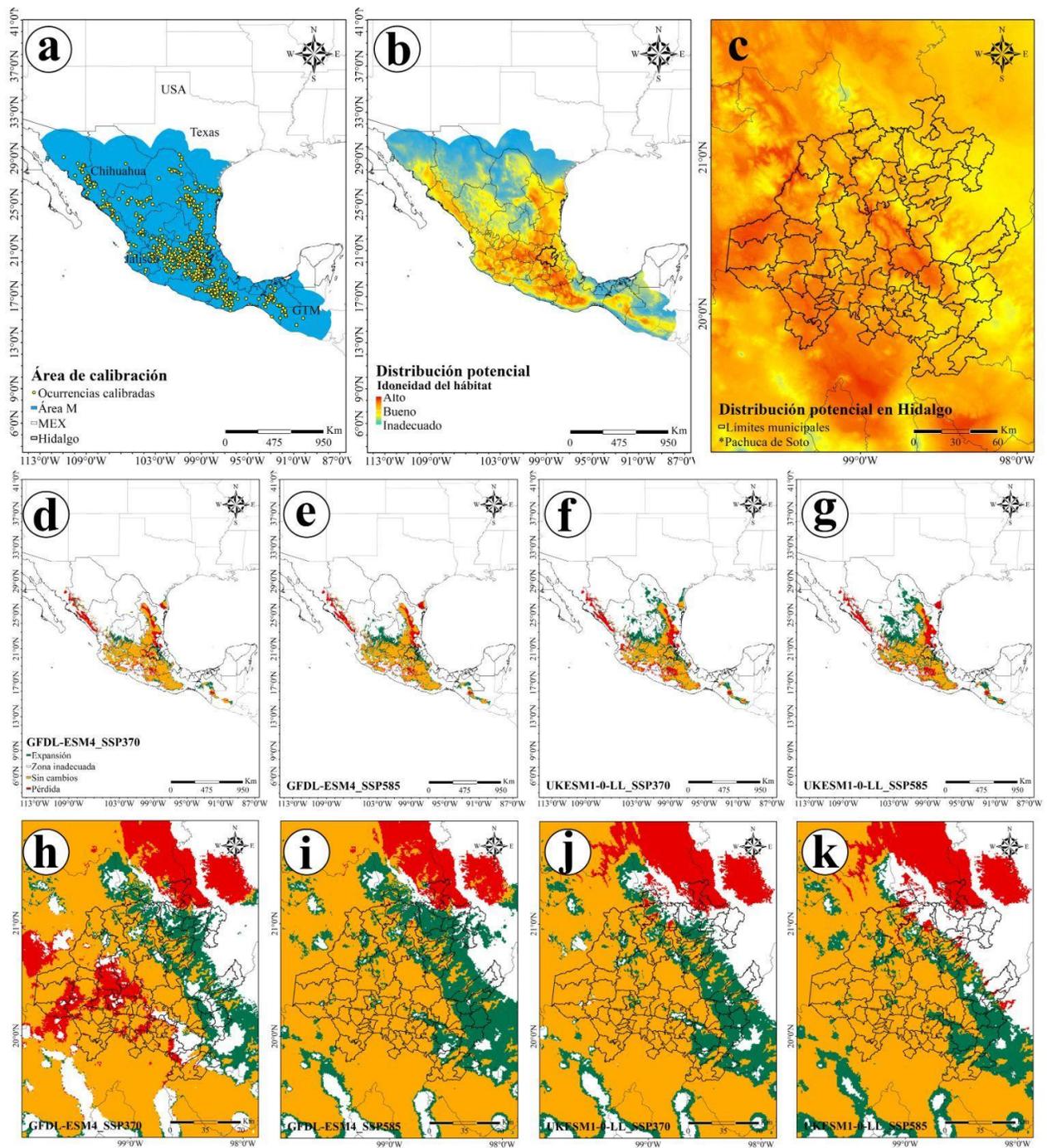


Figura 28. Área de calibración de *T. huegelii* **a)**, distribución potencial global **b)**, distribución potencial en el estado de Hidalgo **c)**, escenarios climáticos a nivel global **d-g)**, escenarios climáticos a nivel estatal **h-k)**.

Taxus globosa

Cinco variables fueron seleccionadas para el modelado de esta especie (Cuadro 4). La variable bio1 (temperatura media anual) fue la que más contribuyó al modelo con 77% (Cuadro 5). El área M de estudio abarca Belice (al sur), El Salvador, gran parte de Guatemala y Honduras, México (al este) y Nicaragua (al oeste) (Figura 29a). López y García (2015) coinciden en la distribución global de la especie.

A nivel global la superficie potencial actual predicha que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 29b) ocupa aproximadamente 115,456 km² (Cuadro 6) que equivale a cerca del 0.08% de la superficie terrestre. Las altas condiciones idóneas (color rojo) se predicen en 10 ecorregiones (ANEXO 3) ubicadas de mayor a menor superficie al este de México, principalmente en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano y bosques de pino-encino de la Sierra Madre de Oaxaca; al este de Guatemala y oeste de Honduras donde coinciden con la ecorregión de los bosques montanos de Centroamérica. La proyección espacial de los mapas de distribución potencial en los trabajos de Contreras *et al.* (2010) y García *et al.* (2012), coinciden con esta investigación.

Las proyecciones futuras a nivel global del modelo UKESM1-0-LL_SSP370 predice menor pérdida de hábitat idóneo con 58,550 km² (50.71%) (Figura 29f); además, predice mayor ganancia de idoneidad con 6,140 km² (5.32%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo de -45.39% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 29g) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 72,442 km² (62.74%); sin embargo, predice áreas idóneas con ganancia de 4,132 km² (3.58%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie en este modelo con -59.17% (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio negativo de hábitat adecuado de -54.32%.

De acuerdo al mapa de distribución potencial, al noreste del estado de Guanajuato existen altas condiciones idóneas pero no se obtuvieron registros, siendo un estado con proyección potencial para la forestación en tales zonas para ayudar a la conservación de esta especie prioritaria; y por otra parte, en el estado de Morelos al igual que en el país de El Salvador hay registros de la especie pero no se predicen buenas condiciones idóneas, esto sugiere que podría deberse a valores atípicos o a que posiblemente correspondan a individuos plantados. En general las áreas con pérdida de idoneidad en el futuro se predicen de mayor a menor superficie en las orillas de la distribución

potencial de México y en casi todo el territorio de Honduras. Las áreas con ganancia se localizan con orden de mayor a menor superficie al noreste, centro y sur de México, y en Guatemala al oeste y coinciden con las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Sur, matorral de la Meseta Central, matorral Central Mexicano, desierto Chihuahuense y bosques de pino-encino de Centroamérica.

De acuerdo con los resultados el cambio climático será un factor importante en la reducción de hábitat para esta especie prioritaria, además Contreras *et al.* (2010) mencionan que el cambio de uso de suelo es otro factor importante a considerar debido a la fragmentación de hábitat principalmente en ecosistemas tan frágiles como el bosque mesófilo de montaña, por lo tanto será de suma importancia considerar aquellas áreas con ganancia de hábitat adecuado para implementar actividades de conservación como la migración asistida.

A nivel estatal la superficie potencial que comprende las categorías alta (color rojo) y buena (colores naranja y amarillo) (Figura 29c) ocupa aproximadamente 8,252 km² que equivale al 39.47% del territorio hidalguense (Cuadro 6). Las altas condiciones idóneas (color rojo) se encuentran de mayor a menor superficie en las ecorregiones de los bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, matorral de la Meseta Central y bosques húmedos de Veracruz, localizadas en 36 municipios (ANEXO 2).

Las proyecciones futuras para Hidalgo del modelo GFDL-ESM4_SSP370 (Figura 29h) predice menor pérdida de hábitat idóneo con 2,759.2 km² (33.44%) (Cuadro 7); además, predice áreas con ganancia de idoneidad de 56 km² (0.68%), esto representa un cambio negativo de hábitat adecuado para la especie de -32.76% (Cuadro 7). El modelo UKESM1-0-LL_SSP585 (Figura 29k) predice mayor pérdida de hábitat idóneo con 4,376.8 km² (53.04%); además, no se predicen áreas idóneas con ganancia (Cuadro 7). En promedio general se estima un cambio negativo de hábitat adecuado de -45.48%.

En el estado de Hidalgo las áreas con pérdida de idoneidad se prevén con orden de mayor a menor superficie al norte y este, en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, matorral de la Meseta Central, bosques montanos de Veracruz, bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano, bosques húmedos de Veracruz y matorral Central Mexicano. Por otra parte, las áreas con ganancia de condiciones idóneas se predicen de mayor a

menor superficie en la parte sureste, en los municipios de Acatlán, Huasca de Ocampo, Atotonilco el Grande, Cuautepec de Hinojosa y Tulancingo de Bravo, donde coinciden con las ecorregiones del matorral de la Meseta Central y bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental.

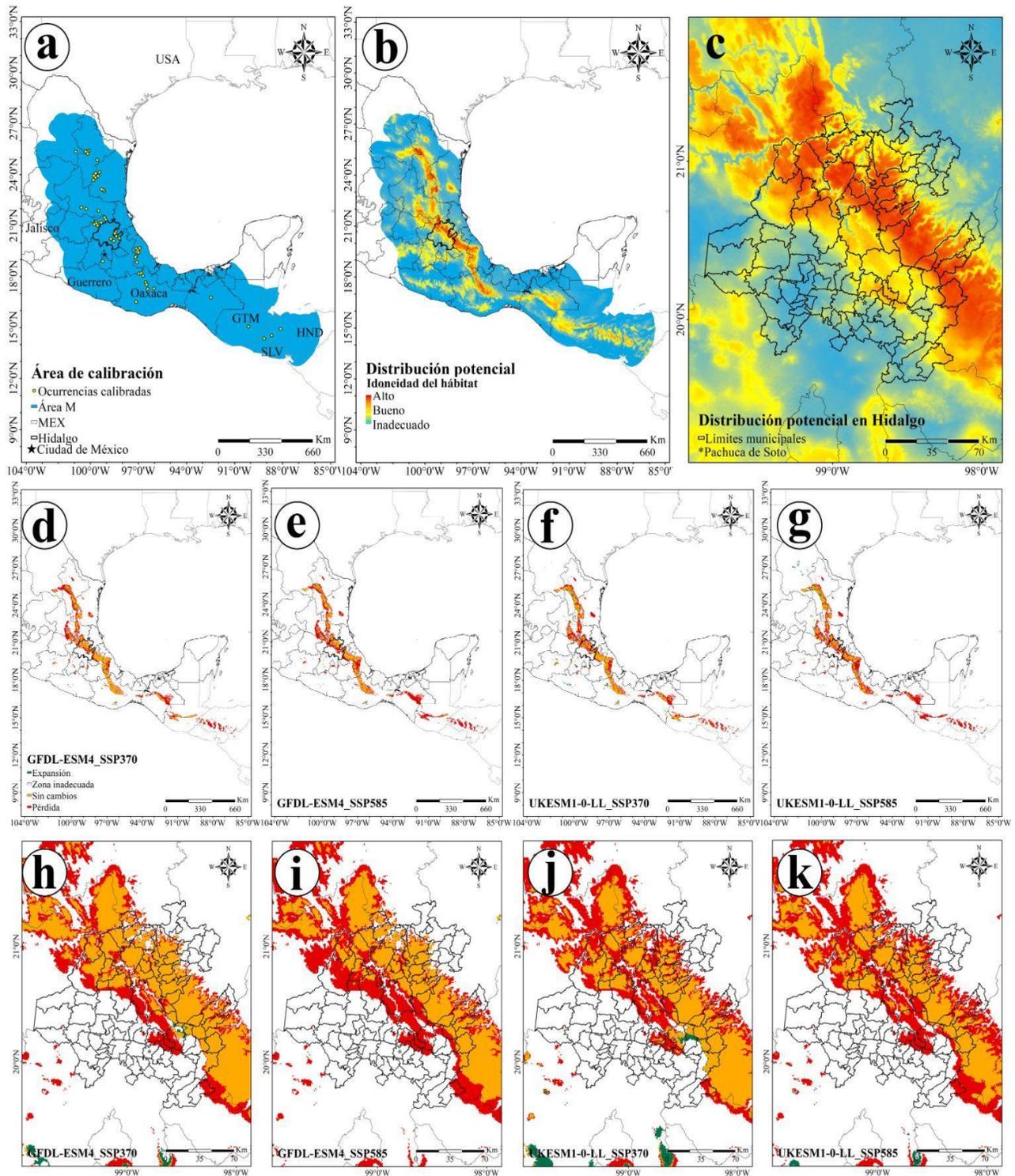


Figura 29. Área de calibración de *T. globosa* **a**), distribución potencial global **b**), distribución potencial en el estado de Hidalgo **c**), escenarios climáticos a nivel global **d-g**), escenarios climáticos a nivel estatal **h-k**).

Panorama general de cambio climático

García *et al.* (2024), coinciden en que principalmente las variables climáticas de temperatura y precipitación, juegan un papel muy importante en el desarrollo, dinámica y distribución de las coníferas, siendo el cambio climático una de las principales amenazas.

De acuerdo a los resultados de los escenarios climáticos, el cambio climático representa una amenaza para la mayoría de las especies de coníferas estudiadas en esta investigación. Según Rossati (2016) un aumento en la temperatura global media de 2.5 °C pondría al 20-30% de las plantas y animales en peligro de extinción. En consecuencia, de acuerdo con Hausefather & Peters (2020) la temperatura global media podría aumentar de 3 °C a 5 °C hacia el año 2100. Algunas especies de coníferas de los géneros *Abies*, *Juniperus* y *Pinus*, presentan un estrecho rango a la tolerancia térmica provocando que en el futuro sean más vulnerables al cambio climático (IPCC, 2002; Laurent y Vilá, 2003). De hecho, Cramer (2001) sugiere que otras especies pueden invadir otros lugares y modificar la composición de la vegetación y su distribución si se presentan cambios en las condiciones ambientales; en este sentido y de acuerdo con los resultados de este estudio, las ecorregiones con zonas montañosas serán ideales para colonizar (Fossa *et al.*, 2004).

Una de las acciones más importantes que se pueden aplicar para evitar un aumento en la temperatura global media es reduciendo nuestra huella de carbono.

A pesar de que la comparación de los modelos de distribución de especies con otros autores resulta ambigua por la diferencia en la metodología empleada Aceves *et al.* (2018), en este trabajo se muestra que la mayoría de los resultados obtenidos son consistentes con previas investigaciones realizadas de las especies estudiadas.

Riqueza de especies de coníferas en Hidalgo

Promediando los dos registros más distantes por especie se obtuvieron 65 celdas de 17.5 km por lado; es decir, celdas con 306.25 km² cada una.

La mayor riqueza de especies de coníferas se encuentra en las zonas montañosas del sureste del estado y coincide de mayor a menor riqueza de especies con las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, seguida por los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano.

La celda con mayor cantidad de especies (13) incluyen parte del territorio de los municipios de Atotonilco el Grande, Huasca de Ocampo, Omitlán de Juárez, Mineral del Chico, Mineral del Monte y Pachuca de Soto (Figura 30) y coincide en parte con el Parque Nacional El Chico.

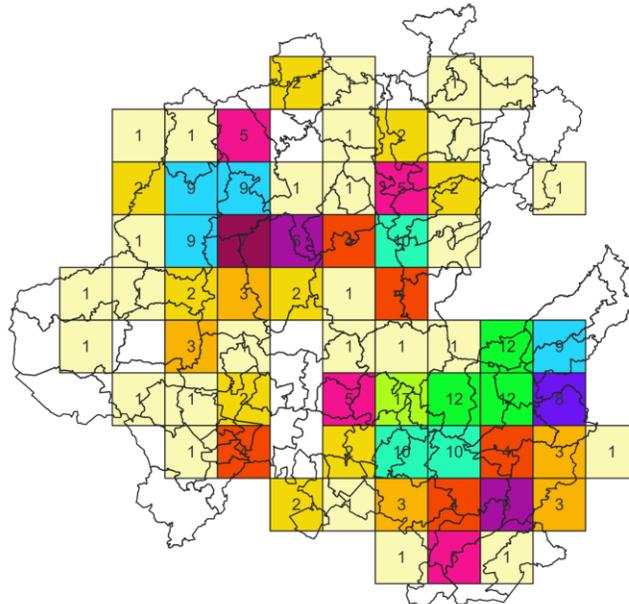


Figura 30. Riqueza de coníferas en el estado de Hidalgo. Los números en las celdas (recuadros) representan la cantidad de especies presentes.

CONCLUSIONES

Las variables que conforman los modelos son especialmente las derivadas de temperatura y precipitación; sin embargo, cada especie tiene requerimientos bioclimáticos específicos que no se incluyeron en esta investigación debido a que las variables climáticas se consideran suficientes e importantes para la creación de proyecciones futuras derivado de su relación con el cambio climático. La variable bio1 (temperatura media anual fue la más importante en 17 especies.

Para todas las especies de coníferas de este estudio se predicen altas condiciones idóneas en las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y Bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano solo en *J. angosturana* no se predicen altas condiciones idóneas en dichas ecorregiones.

A nivel global las 25 especies de este estudio presentaran pérdida y ganancia de hábitat adecuado hacia el periodo 2041-2070 como respuesta al cambio climático, *T. huegelii* es la especie

con menor pérdida con 27.72% y *A. hidalgensis* la especie con mayor pérdida con un 99.89%; mientras que, *P. ayacahuite* es la especie con menor ganancia de hábitat adecuado con 0.06% y *T. huegelii* es la especie con mayor ganancia de hábitat adecuado con 34.62%; además, esta última especie es la única de esta investigación que tendrá un cambio de hábitat positivo en su distribución geográfica con 6.90%, es decir, predice más ganancia que pérdida de hábitat adecuado; sin embargo, la adaptabilidad de las especies al nuevo hábitat será crucial para su sobrevivencia.

A nivel estatal las 25 especies presentaran pérdida de hábitat adecuado en el futuro y nueve presentaran ganancia, *T. huegelii* es la especie con menor pérdida con 9.11% y *A. hidalgensis* la especie con mayor pérdida con 99.90%; mientras que, *T. huegelii* es la especie con mayor ganancia de hábitat adecuado con 29.21%; además, esta última especie es la única de esta investigación que tendrá un cambio de hábitat positivo en su distribución geográfica con 20.10%; sin embargo, el área predicha con ganancia de condiciones idóneas para *T. huegelii* dependerá principalmente de la existencia de cuerpos de agua.

De acuerdo a la revisión de literatura, *H. benthamii* y *P. matudae* son las especies que actualmente no han sido estudiadas respecto al tema, por lo tanto, este trabajo de investigación realizado para ambas especies será de suma importancia para la implementación de estrategias de conservación e investigación para dichas especies, principalmente para *P. matudae* que actualmente se encuentra en Protección Especial de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y Vulnerable en la Red List de la IUCN; mientras que *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* son las especies con más trabajos de investigación generados hasta el momento con 14 y 9 respectivamente.

Las siete especies en categoría de riesgo de este estudio presentaran pérdida de áreas idóneas en el futuro, siendo necesario implementar esfuerzos de conservación y más trabajo de campo para las especies prioritarias y principalmente para *A. guatemalensis* y *P. pinceana* por ser especies en Peligro de extinción, además *P. pinceana* actualmente no se encuentra en algún área natural protegida en el estado.

En este estudio se logró tener el mínimo de registros para realizar por segunda vez el modelado de *Abies hidalgensis* que es una especie endémica de Hidalgo y altamente amenazada por el cambio climático y actividades antropogénicas principalmente, además de ser la especie con mayor predicción de pérdida de hábitat idóneo y que actualmente tampoco se encuentra en algún área natural protegida que ayude a su conservación, por consiguiente requiere la urgente implementación de un área natural protegida destinada a la conservación de la especie y estrategias de conservación

como las reforestaciones en zonas con altas condiciones idóneas y la migración asistida en áreas con ganancia de idoneidad.

La mayor riqueza de especies de coníferas se encuentra en las zonas montañosas del sureste del estado y coincide de mayor a menor riqueza de especies con las ecorregiones de los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, seguida por los bosques de pino-encino del Eje Neovolcánico Mexicano.

En esta investigación solo se trabajó a nivel especie, sin embargo, en el futuro será interesante trabajar a nivel de subespecies y variedades para tener un mejor panorama del nicho ecológico de las especies y sus condiciones futuras.

ANEXOS

1.- Etiquetas generadas para el depósito de muestras de herbario

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies hidalgensis Debreczy, I. Rácz & Guizar

Hidalgo: Mpio. Agua Blanca de Iturbide. Ejido San Pedrito.
Vegetación asociada. *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°21'58.7385"N, 98°19'31.0692"W
Diámetro: 10 cm

Elevación: 2338 m
Altura: 7 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, E. Jiménez Muñoz, & L.K. Templos Canales

RCP No.01
Det. S. Hernández-León

7 Jul 2022
DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus ayacahuite Ehrenb. ex Schtdl.

Hidalgo: Mpio. Agua Blanca de Iturbide. Ejido San Pedrito.
Vegetación asociada. *Pinus patula*, *Prunus* sp., *Quercus* sp.

20°22'13.5319"N, 98°20'20.1599"W Elevación: 2338 m
Diámetro: 26 cm Altura: 13 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, E. Jiménez Muñoz, & L.K. Templos Canales

RCP No.02 7 Jul 2022
Det. S. Hernández-León DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies hidalgensis Debreczy, I. Rácz & Guizar

Hidalgo: Mpio. Agua Blanca de Iturbide.
Vegetación asociada. *Pinus ayacahuite*, *Quercus* sp.

20°21'7.9"N, 98°20'58.8"W Elevación: 2294 m
Diámetro: 3 cm Altura: 57 cm

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, J.N. Cruz Morgado, C.A. Ortiz García Muñoz, A.L. Jiménez Martínez, R. Espinosa Hernández, N. Avilés Sánchez & J.E. Rodríguez Domínguez.

RCP No.03 8 Nov 2022
Det. S. Hernández-León DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus ayacahuite Ehrenb. ex Schtdl.

Hidalgo: Mpio. Agua Blanca de Iturbide.

Vegetación asociada. *Abies hidalgensis*, *Quercus* sp.

20° 21'08.4" N, 98° 20'59.3" W

Elevación: 2300 m

Diámetro: 17.5 cm

Altura: 10 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, J.N. Cruz Morgado, C.A. Ortiz García Muñoz, A.L. Jiménez Martínez, R. Espinosa Hernández, N. Avilés Sánchez & J.E. Rodríguez Domínguez.

RCP No. 04

8 Nov 2022

Det. S. Hernández-León

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies hidalgensis Debreczy, I. Rácz & Guizar

Hidalgo: Mpio. Agua Blanca de Iturbide. Por el predio Cerro las tres cruces.

Vegetación asociada. *Pinus ayacahuite*, *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20° 20'57.1" N, 98° 20'41.9" W

Elevación: 2338 m

Diámetro: 1.13 m

Altura: 50 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, J.N. Cruz Morgado, C.A. Ortiz García Muñoz, A.L. Jiménez Martínez, R. Espinosa Hernández, N. Avilés Sánchez & J.E. Rodríguez Domínguez.

RCP No. 05

8 Nov 2022

Det. S. Hernández-León

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis benthamii (Endl.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. Agua Blanca de Iturbide. Por el predio Cerro las tres cruces.
Vegetación asociada. *Abies hidalgensis*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus patula*.

20° 20'54.8" N, 98° 20'40.4" W
Diámetro: 28.5 cm

Elevación 2346 m
Altura: 13 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, J.N. Cruz Morgado, C.A. Ortiz García Muñoz, A.L. Jiménez Martínez, R. Espinosa Hernández, N. Avilés Sánchez & J.E. Rodríguez Domínguez.

RCP No. 06
Det. S. Hernández-León

8 Nov 2022
DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus oocarpa Schiede. ex Schltdl.

Hidalgo: Mpio. Molango de Escamilla.
Vegetación asociada. *Quercus* sp.

20° 51'41.0201" N, 98° 45'48.4213" W
Diámetro: 27 cm

Elevación: 1085 m
Altura: 22 m

Col. R. Canales-Pérez & R. Razo Zárate

RCP No. 07
Det. R. Razo Zárate

19 Ene 2023
DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.**

Hidalgo: Mpio. Huasca de Ocampo. Ejido Tulancingo.

Vegetación asociada. *Arbutus xalapensis*, *Pinus patula*, *Pinus teocote*, *Quercus sp.*

20° 6'5.6819" N, 98° 32'16.2125" W

Elevación: 2862 m

Diámetro: 3 cm

Altura: 4 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.G. Canales Pérez

RCP No. 08

11 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

TAXACEAE

***Taxus globosa* Schltdl.**

Hidalgo: Mpio. Singuilucan. Ejido Tulancingo.

Vegetación asociada. *Abies religiosa*, *Baccharis conferta*, *Buddleja cordata*, *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20° 5'30.1864" N, 98°32'14.595" W

Elevación: 2857 m

Diámetro: 11 cm

Altura: 7 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.G. Canales Pérez

RCP No. 09

11 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.**

Hidalgo: Mpio. Singuilucan. Ejido Tulancingo.

Vegetación asociada. *Litsea glaucescens*, *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°5'29.3825" N, 98°32'18.1785" W

Elevación: 2885 m

Diámetro: 29 cm

Altura: 34 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.G. Canales Pérez

RCP No. 10

11 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus patula* Schiede. Schltdl. & Cham.**

Hidalgo: Mpio. Singuilucan. Ejido Tulancingo.

Vegetación asociada. *Abies religiosa*, *Baccharis conferta*, *Litsea glaucescens*.

20°5'29.7821" N, 98°32'21.6896" W

Elevación: 2923 m

Diámetro: 38 cm

Altura: 35 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.G. Canales Pérez

RCP No. 11

11 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus hartwegii* Lindl.**

Hidalgo: Mpio. Singuilucan. Ejido Tulancingo.

Vegetación asociada. *Abies religiosa*, *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta*, *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°5'7.2233" N, 98°32'16.0052" W Elevación: 2923 m
Diámetro: 10 cm Altura: 3.5 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.G. Canales Pérez

RCP No. 12 11 Feb 2023
Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus montezumae* Lamb.**

Hidalgo: Mpio. Singuilucan. Ejido Tulancingo.

Vegetación asociada. *Abies religiosa*, *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta*, *Pinus hartwegii*, *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°5'2.7201" N, 98°31'58.3545" W Elevación: 2950 m
Diámetro: 15 cm Altura: 18 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.G. Canales Pérez

RCP No. 13 11 Feb 2023
Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis lusitanica (Mill.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. Singuilucan. Ejido Tulancingo.

Vegetación asociada. *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°3'21.3302" N, 98°31'1.2316" W

Elevación: 2583 m

Diámetro: 35 cm

Altura: 15 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.G. Canales Pérez

RCP No. 14

11 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus montezumae Lamb.

Hidalgo: Mpio. Metepec. Ejido El Casco.

Vegetación asociada. *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta*, *Buddleja cordata*, *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°3'21.3302" N, 98°31'1.2316" W

Elevación: 2356 m

Diámetro: 1.05 m

Altura: 35 m

Col. R. Canales-Pérez & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 15

13 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus teocote Schiede ex Schltdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. Epazoyucan. Ejido Nopalillo.

Vegetación asociada. *Callitropsis lusitanica*, *Pinus hartwegii*.

20°5'1.9901" N, 98°34'40.6719" W

Elevación: 2906 m

Diámetro: 14 cm

Altura: 12 m

Col. R. Canales-Pérez, M. Islas Cárdenas, Y. Pérez Hernández & J.J. Baños Téllez

RCP No. 16

18 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus hartwegii Lindl.

Hidalgo: Mpio. Epazoyucan. Ejido Nopalillo.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Callitropsis lusitanica*, *Pinus teocote*.

20°5'3.0044" N, 98°34'43.1139" W

Elevación: 2906 m

Diámetro: 27 cm

Altura: 23 m

Col. R. Canales-Pérez, M. Islas Cárdenas, Y. Pérez Hernández & J.J. Baños Téllez

RCP No. 17

18 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis lusitanica (Mill.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. Epazoyucan. Ejido Nopalillo.

Vegetación asociada. *Arbutus xalepensis*, *Baccharis conferta*, *Pinus hartwegii*, *Pinus teocote*.

20°5'2.904" N, 98°34'44.741999" W

Elevación: 2904 m

Diámetro: 5 cm

Altura: 7 m

Col. R. Canales-Pérez, M. Islas Cárdenas, Y. Pérez Hernández & J.J. Baños Téllez

RCP No. 18

18 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies religiosa (Kunth) Schltdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. Epazoyucan. Ejido Nopalillo.

Vegetación asociada. *Pinus hartwegii*, *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°5'15.4032" N, 98°33'30.564" W

Elevación: 3065 m

Diámetro: 42 cm

Altura: 36 m

Col. R. Canales-Pérez, M. Islas Cárdenas, Y. Pérez Hernández & J.J. Baños Téllez

RCP No. 19

18 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus patula Schiede. Schltdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. Epazoyucan. Ejido Nopalillo.

Vegetación asociada. *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, *Quercus sp.*

20°5'15.349199" N, 98°33'30.06" W

Elevación: 3066 m

Diámetro: 10 cm

Altura: 12 m

Col. R. Canales-Pérez, M. Islas Cárdenas, Y. Pérez Hernández & J.J. Baños Téllez

RCP No. 20

18 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Juniperus deppeana Steud.

Hidalgo: Mpio. Epazoyucan. Loc. Los Lirios.

Vegetación asociada. *Schinus molle*, *Opuntia sp.*

20°3'10.44" N, 98°36'45.125999" W

Elevación: 2604 m

Diámetro: 22 y 20 cm (Bifurcado debajo del DAP) Altura: 5 m

Col. R. Canales-Pérez, M. Islas Cárdenas, Y. Pérez Hernández & J.J. Baños Téllez

RCP No. 21

18 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Abies hidalgensis* Debreczy, I. Rácz & Guizar**

Hidalgo: Mpio. Agua Blanca de Iturbide. Ejido San Pedrito.

Vegetación asociada. *Pinus patula*, *Quercus sp.*

20°21'48.8356" N, 98°19'35.8378" W Elevación: 2298 m

Diámetro: 17 cm Altura: 22 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & J.H. Morgado Badillo

RCP No. 22 19 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus patula* Schiede. Schltdl. & Cham.**

Hidalgo: Mpio. Metepec. Ejido El Casco.

Vegetación asociada. *Alnus sp.*, *Arbutus sp.*, *Baccharis conferta*, *Prunus serotina*, *Quercus sp.*

20°19'32.7744" N, 98°19'46.3934" W Elevación: 2386 m

Diámetro: 48 cm Altura: 33 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 23 22 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis benthamii (Endl.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. Metepec. Ejido El Casco.

Vegetación asociada. *Arbutus* sp., *Pinus patula*, *Prunus serotina*, *Quercus* sp.

20°19'33.2961" N, 98°19'46.7015" W Elevación: 2377 m

Diámetro: 73 cm Altura: 32 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 24

22 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus teocote Schiede ex Schltdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. Metepec. Ejido El Casco.

Vegetación asociada. *Arbutus* sp., *Baccharis conferta*, *Pinus patula*, *Prunus serotina*..

20°19'22.26" N, 98°19'44.4386" W Elevación: 2394 m

Diámetro: 24 cm Altura: 30 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 25

22 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus pseudostrabus Lindl.

Hidalgo: Mpio. Metepec. Ejido El Casco.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Buddleja cordata*, *Crataegus mexicana*, *Prunus serotina*.

20°19'19.6367" N, 98°19'55.9675" W

Elevación: 2370 m

Diámetro: 62 cm

Altura: 24 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 26

22 Feb 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Taxodium huegelii C. Lawson

Hidalgo: Mpio. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Ventoquipa.

Vegetación asociada. *Fraxinus udehi*, *Prunus serotina*.

20°2'24.93" N, 98°20'35.43" W

Elevación: 2195 m

Diámetro: 2.39 m

Altura: 20 m

Col. R. Canales-Pérez & R.A. Canales Pérez

RCP No. 27

12 Mar 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.**

Hidalgo: Mpio. Mineral del Chico. Parque Nacional El Chico.
Vegetación asociada. *Callitropsis benthamii*, *Juniperus monticola*.

20°11'1.5904" N, 98°43'27.2432" W Elevación: 2927 m
Diámetro: 29 cm Altura: 23 m

Col. R. Canales-Pérez, M.G. Pérez Bolom & B.M. Ambriz Quintanar

RCP No. 28 17 Mar 2023
Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

TAXACEAE

***Taxus globosa* Schltdl.**

Hidalgo: Mpio. Mineral del Chico. Parque Nacional El Chico.
Vegetación asociada. *Abies religiosa*, *Quercus* sp., *Prunus serotina*

20°11'37.9078" N, 98°42'54.3761" W Elevación: 2869 m
Diámetro: 4 cm Altura: 4 m

Col. R. Canales-Pérez & E. Jarillo Gutiérrez

RCP No. 29 17 Mar 2023
Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus pseudostrobus* Lindl.**

Hidalgo: Mpio. Ferrería de Apulco
Vegetación asociada. *Baccharis conferta*.

20°17'46.656" N, 98°20'42.3" W Elevación: 2220 m
Diámetro: 1.02 m Altura: 10 m

Col. R. Canales-Pérez & J.H. Morgado Badillo

RCP No. 32 30 Mar 2023
Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus montezumae* Lamb.**

Hidalgo: Mpio. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Los Romeros.
Vegetación asociada. *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta*, *Juniperus deppeana*, *Pinus teocote*.

20°0'39.216" N, 98°24'36.36" W Elevación: 2532 m
Diámetro: 43 cm Altura: 22 m

Col. R. Canales-Pérez, J. Canales Pérez, J. García Hernández & L.M. Canales Pérez

RCP No. 33 01 Abr 2023
Det. R. Canales-Pérez DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus teocote Schiede ex Schltdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Los Romeros.

Vegetación asociada. *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta*, *Juniperus deppeana*, *Pinus montezumae*.

20°0'39.582" N, 98°24'36.606" W

Elevación: 2531 m

Diámetro: 28 cm

Altura: 18 m

Col. R. Canales-Pérez, J. Canales Pérez, J. García Hernández & L.M. Canales Pérez

RCP No. 34

01 Abr 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Juniperus deppeana Steud.

Hidalgo: Mpio. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Los Romeros.

Vegetación asociada. *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta*, *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*.

20°0'39.27" N, 98°24'37.062" W

Elevación: 2537 m

Diámetro: 12 cm

Altura: 8 m

Col. R. Canales-Pérez, J. Canales Pérez, J. García Hernández & L.M. Canales Pérez

RCP No. 35

01 Abr 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Juniperus deppeana Steud.

Hidalgo: Mpio. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Los Romeros.
Vegetación asociada. *Opuntia* sp., *Pinus montezumae*.

20°1'16.3" N, 98°23'35.2" W
Diámetro: 24 cm

Elevación: 2315 m
Altura: 7 m

Col. R. Canales-Pérez, J. Canales Pérez, J. García Hernández & L.M. Canales Pérez

RCP No. 36
Det. R. Canales-Pérez

01 Abr 2023
DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus teocote Schiede ex Schltdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. Acatlán. Por Loma Chica.
Vegetación asociada. *Baccharis conferta*.

20°6'16.9" N, 98°28'4.1" W
Diámetro: 47 cm

Elevación: 2434 m
Altura: 27 m

Col. R. Canales-Pérez, J. Canales Pérez, F. Canales Pérez & L.M. Canales Pérez

RCP No. 37
Det. R. Canales-Pérez

07 Abr 2023
DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus montezumae* Lamb.**

Hidalgo: Mpio. Acatlán. Por Loma Chica.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Quercus sp.*

20°6'11.9" N, 98°27'49.2" W

Elevación: 2425 m

Diámetro: 77 cm

Altura: 28 m

Col. R. Canales-Pérez, J. Canales Pérez, F. Canales Pérez & L.M. Canales Pérez

RCP No. 38

07 Abr 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus patula* Schiede. Schltdl. & Cham.**

Hidalgo: Mpio. Zacualtipán de Ángeles. Ejido La Mojonera.

Vegetación asociada. *Clethra sp.*, *Prunus serotina*, *Rubus sp.*

20°37'18.6" N, 98°35'38.7" W

Elevación: 2045 m

Diámetro: 19 cm

Altura: 12 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Popoca Paredes, J.L. García Martínez & V. Guzmán Castro

RCP No. 39

14 Abr 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Juniperus flaccida Schtdl.

Hidalgo: Mpio. Metztitlán. Predio La Cruz Verde.

Vegetación asociada. *Crataegus mexicana*, *Pinus patula*, *Quercus laurina*.

20°40'1.0" N, 98°42'22.1" W

Elevación: 2139 m

Diámetro: 20 cm

Altura: 8 m

Col. R. Canales-Pérez, E.M. Islas Durán, A.B. López Gayosso, F. Ortiz Islas & V. Guzmán Castro

RCP No. 40

14 Abr 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus patula Schiede. Schtdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. Metztitlán. Predio La Cruz Verde.

Vegetación asociada. *Quercus laurina*.

20°40'1.2" N, 98°42'23.0" W

Elevación: 2114 m

Diámetro: 30 cm

Altura: 30 m

Col. R. Canales-Pérez, E.M. Islas Durán, A.B. López Gayosso, F. Ortiz Islas & V. Guzmán Castro

RCP No. 41

14 Abr 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PODOCARPACEAE

Podocarpus matudae Lundell

Hidalgo: Mpio. Zacualtipán de Ángeles. Ejido San Francisco Tlahuelompa.
Vegetación asociada. *Clethra mexicana*, *Liquidambar styraciflua*

20°39'47.8" N, 98°34'1.7" W
Diámetro: 3 cm

Elevación: 1586 m
Altura: 4 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, A. Díaz Salinas, L.A. Zaragoza Barrios & N.I. Flores
González

RCP No. 42

04 May 2023

Det. S. Hernández León & R. Canales-Pérez
DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PODOCARPACEAE

Podocarpus matudae Lundell.

Hidalgo: Mpio. Zacualtipán de Ángeles. Ejido San Francisco Tlahuelompa.
Vegetación asociada. *Clethra mexicana*, *Liquidambar styraciflua*

20°39'48" N, 98°34'3.3" W
Diámetro: 1 cm

Elevación: 1568 m
Altura: 2 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, E. Márquez Juárez, S.J. Velasco Fuentes, H. Sánchez
Romero & H. Balmaceda Berganza

RCP No. 43

04 May 2023

Det. S. Hernández León & R. Canales-Pérez
DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

***Pinus patula* Schiede. Schltdl. & Cham.**

Hidalgo: Mpio. Zacualtipán de Ángeles. Ejido San Francisco Tlahuelompa.
Vegetación asociada. *Arbutus* sp., *Liquidambar styraciflua*, *Quercus* sp., *Prunus serotina*.

20°39'50" N, 98°34'8.0" W
Diámetro: 16 cm

Elevación: 1596 m
Altura: 14 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, M. García Cid, J.M. Hernández Hernández & S. Mederos Hernández
RCP No. 44
Det. S. Hernández León & R. Canales-Pérez
DNA Voucher

04 May 2023

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PODOCARPACEAE

***Podocarpus matudae* Lundell.**

Hidalgo: Mpio. Tenango de Doria. Zona Centro, domicilio particular.
Vegetación asociada. *Buddleja cordata*, *Brugmansia arborea*, *Carica papaya*, *Fraxinus udehi*.

20°20'11.8" N, 98°13'35.3" W
Diámetro: 40 cm

Elevación: 1640 m
Altura: 7 m

Col. R. Canales-Pérez, A. Suárez Islas, A.I. Martínez Samperio, A.A. Reyes Grinaldo, U.A. Álvarez Moreno & E.M. Islas Durán

RCP No. 45
Det. A. Suárez Islas & R. Canales-Pérez
DNA Voucher

05 May 2023

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus greggii var. *australis* Donahue & López.

Hidalgo: Mpio. Tenango de Doria. El Temapa.

Vegetación asociada. *Alnus acuminata*, *Clethra mexicana*, *Trema micrantha*.

20°22'7.0" N, 98°12'44.3" W

Elevación: 1119 m

Diámetro: 25.1 cm

Altura: 15 m

Col. R. Canales-Pérez, A. Suárez Islas, A.I. Martínez Samperio, A.A. Reyes Grinaldo & U.A. Álvarez Moreno

RCP No. 46

05 May 2023

Det. A. Suárez Islas & R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis benthamii (Endl.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. Tenango de Doria. El Estribo.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Clethra mexicana*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus* sp.

20°18'50.08" N, 98°14'56.5" W

Elevación: 2183 m

Diámetro: 20 cm

Altura: 10 m

Col. R. Canales-Pérez, A. Suárez Islas, A.I. Martínez Samperio, A.A. Reyes Grinaldo & U.A. Álvarez Moreno

RCP No. 47

05 May 2023

Det. A. Suárez Islas & R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus pseudostrabus Lindl.

Hidalgo: Mpio. Tenango de Doria. El Estribo.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Callitropsis benthamii*, *Clethra mexicana*, *Quercus sp.*

20°18'50.06" N, 98°14'56.5" W

Elevación: 2183 m

Diámetro: 25 cm

Altura: 18 m

Col. R. Canales-Pérez, A. Suárez Islas, A.I. Martínez Samperio, A.A. Reyes Grinaldo & U.A. Álvarez Moreno

RCP No. 48

05 May 2023

Det. A. Suárez Islas & R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus patula Schiede. Schltdl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. San Bartolo Tutotepec. Ejido Cumbre de Muridores.

Vegetación asociada. *Arbutus xalapensis*, *Clethra mexicana*, *Quercus sp.*

20°20'22.6" N, 98°19'11.9" W

Elevación: 2459 m

Diámetro: 36 cm

Altura: 31 m

Col. R. Canales-Pérez & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 49

16 May 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus ayacahuite Ehrenb. ex Schtdl.

Hidalgo: Mpio. San Bartolo Tutotepec. Ejido Cumbre de Muridores.

Vegetación asociada. *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta*, *Pinus patula*.

20°36'56.5" N, 98°19'3.1" W

Elevación: 2401 m

Diámetro: 49 cm

Altura: 45 m

Col. R. Canales-Pérez & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 50

16 May 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies guatemalensis Rehder.

Hidalgo: Mpio. Zimapán. La Encarnación.

Vegetación asociada. *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20°52'21.2" N, 98°12'35.6" W

Elevación: 2417 m

Diámetro: 60 cm

Altura: 24 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, F. Ortiz Islas & B.T. Sánchez Ruíz

RCP No. 51

01 Jun 2023

Det. S. Hernández-León & R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies guatemalensis Rehder.

Hidalgo: Mpio. Zimapán. La Encarnación.

Vegetación asociada. *Callitropsis lusitanica*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20°52'17.5" N, 99°12'45.6" W

Elevación: 2460 m

Diámetro: 1.29 m

Altura: 55 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, F. Ortiz Islas & B.T. Sánchez Ruíz

RCP No. 52

01 Jun 2023

Det. S. Hernández-León & R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis lusitanica (Mill.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. Zimapán. Los Nogales.

Vegetación asociada. *Juniperus flaccida*, *Quercus* sp.

20°54'4.9" N, 99°13' 5.7" W

Elevación: 2457 m

Diámetro: 49 cm

Altura: 17 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, F. Ortiz Islas & B.T. Sánchez Ruíz

RCP No. 53

02 Jun 2023

Det. S. Hernández-León & R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Juniperus flaccida Schltdl.

Hidalgo: Mpio. Zimapán. Los Nogales.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Juniperus flaccida*, *Quercus* sp.

20°54'5.6" N, 99°12'53.6" W

Elevación: 2456 m

Diámetro: 69 cm

Altura: 16 m

Col. R. Canales-Pérez, S. Hernández León, F. Ortiz Islas & B.T. Sánchez Ruíz

RCP No. 54

02 Jun 2023

Det. S. Hernández-León & R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus pseudostrobus Lindl.

Hidalgo: Mpio. Metepec. Ferrería de Apulco.

Vegetación asociada. *Buddleja cordata*, *Quercus* sp.

20°18'34.3" N, 98°20'27.4" W

Elevación: 2216 m

Diámetro: 30 cm

Altura: 19 m

Col. R. Canales-Pérez, B. Gómez Hernández & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 55

08 Jun 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis benthamii (Endl.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. San Bartolo Tutotepec. Ejido Cumbre de Muridores.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20°20'20" N, 98°19'12.1" W

Elevación: 2373 m

Diámetro: 7 cm

Altura: 6 m

Col. R. Canales-Pérez & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 56

12 Jun 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies hidalgensis Debreczy, I. Rácz & Guizar

Hidalgo: Mpio. San Bartolo Tutotepec. Ejido Cumbre de Muridores.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20°20'33.5" N, 98°19'28.6" W

Elevación: 2388 m

Diámetro: 22 cm

Altura: 15 m

Col. R. Canales-Pérez & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 57

12 Jun 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Abies hidalgensis Debreczy, I. Rácz & Guizar

Hidalgo: Mpio. San Bartolo Tutotepec. Cumbre de Muridores.
Vegetación asociada. *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20°20'11.8" N, 98°19'56.0" W
Diámetro: 39 cm

Elevación: 2400 m
Altura: 24 m

Col. R. Canales-Pérez & D.E. Villeda Fuentes
RCP No. 58
Det. R. Canales-Pérez
DNA Voucher

12 Jun 2023

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

PINACEAE

Pinus teocote Schiede ex Schldl. & Cham.

Hidalgo: Mpio. San Bartolo Tutotepec. Cumbre de Muridores.
Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20°20'4.7" N, 98°19'32.0" W
Diámetro: 23 cm

Elevación: 2452 m
Altura: 13 m

Col. R. Canales-Pérez, D.E. Villeda Fuentes & B. Gómez Hernández
RCP No. 59
Det. R. Canales-Pérez
DNA Voucher

25 Jun 2023

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

PLANTS OF MEXICO

CUPRESSACEAE

Callitropsis benthamii (Endl.) D.P. Little

Hidalgo: Mpio. San Bartolo Tutotepec. Cumbre de Muridores.

Vegetación asociada. *Baccharis conferta*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus patula*, *Quercus* sp.

20°20'56.2" N, 98°19'4.3" W

Elevación: 2312 m

Diámetro: 17 cm

Altura: 9 m

Col. R. Canales-Pérez & D.E. Villeda Fuentes

RCP No. 60

06 Jun 2023

Det. R. Canales-Pérez

DNA Voucher

HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO (MEXU)

2.- Los municipios con buenas condiciones de idoneidad por especie están representados en las celdas con una “x” y las celdas en color rojo indican los municipios con altas condiciones idóneas.

Municipios	A. gu	A. hi	A. re	H. be	H. lu	J. an	J. de	J. fl	J. mo	P. ay	P. ce	P. de	P. gr	P. ha	P. le	P. mo	P. oo	P. pa	P. pi	P. ps	P. te	P. ma	P. me	T. hu	T. gl
Acatlán	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	x
Acaxochitlán	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x
Actopan			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x
Agua Blanca de Iturbide	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Ajacuba			x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x				x	x		x	x	
Alfajayucan			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	
Almoloya	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	x
Apan	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	
Atitalaquia			x	x	x	x	x	x			x	x	x	x							x			x	
Atlapexco													x									x			
Atotonilco de Tula			x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x						x			x	
Atotonilco el Grande	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x
Calnali	x			x	x			x		x	x		x	x		x	x	x		x	x	x		x	x

Cardonal	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x
Chapantongo			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x		x	x		x	x	
Chapulhuacán	x			x	x			x		x	x		x	x		x	x		x	x	x		x	x	x
Chilcuautla			x	x	x	x	x	x			x		x	x		x					x		x	x	
Cuautepec de Hinojosa	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x
El Arenal			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	x	x
Eloxochitlán	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Emiliano Zapata			x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x					x	x		x	x	
Epazoyucan	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	x	x
Francisco I. Madero			x	x	x	x	x	x			x		x	x		x					x		x	x	
Huasca de Ocampo	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x
Huautla													x									x			
Huazalingo				x	x			x		x			x		x	x	x		x		x		x	x	x
Huehuetla	x		x	x	x			x		x			x	x		x	x	x		x	x	x			x
Huejutla de Reyes				x	x			x				x				x	x		x		x		x	x	x

Nopala de Villagrán			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	
Omitlán de Juárez	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	x
Pachuca de Soto	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x
Pacula	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pisaflores				x	x			x		x	x		x			x	x	x		x		x		x
Progreso de Obregón			x	x	x	x	x	x		x		x	x		x			x	x		x	x		
San Agustín Metzquitlán	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
San Agustín Tlaxiaca			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	x
San Bartolo Tutotepec	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
San Felipe Orizatlán																	x				x		x	
San Salvador			x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x					x		x	x	
Santiago de Anaya			x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x		x	x	x	x		x	x	x
Santiago Tulantepec	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x		x		x	x		x	x	
Singuilucan	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	
Tasquillo			x	x	x	x	x	x			x		x	x		x		x	x	x			x	

Tecoautla			x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x			x	x	x			x	
Tenango de Doria	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Tepeapulco	x		x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x		x		x	x		x	x	
Tepehuacán de Guerrero	x		x	x	x			x		x	x		x	x		x	x	x		x	x	x	x	x
Tepeji del Río de Ocampo			x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x		x		x	x		x	x	
Tepetitlán			x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	
Tetepango				x	x		x	x			x		x	x						x			x	
Tezontepec de Aldama			x	x	x	x	x	x			x		x	x	x	x				x		x	x	
Tianguistengo	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x
Tizayuca			x	x	x	x	x	x			x		x		x								x	
Tlahuelilpan			x	x	x	x	x	x			x		x	x								x	x	
Tlahuiltepa	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tlanalapa			x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x				x	x		x	x
Tlanchinol	x		x	x	x			x		x	x		x	x		x	x	x		x		x		x
Tlaxcoapan			x	x	x	x	x	x			x		x							x			x	

Tolcayuca			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		x	x	
Tula de Allende			x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x		x		x	x		x	x	
Tulancingo de Bravo	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	x
Villa de Tezontepec			x	x	x		x	x	x	x	x			x		x				x		x	x	
Xochiatipan										x		x				x	x				x			
Xochicoatlán	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Yahualica													x					x			x			
Zacualtipán de Ángeles	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Zapotlán de Juárez			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		x	x	
Zempoala			x	x	x		x	x	x	x	x		x	x		x				x	x		x	x
Zimapán	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

A. gu: *Abies guatemalensis*, *A. hi*: *Abies hidalgensis*, *A. re*: *Abies religiosa*, *H. be*: *Hesperocyparis benthamii*, *H. lu*: *Hesperocyparis lusitanica*, *J. an*: *Juniperus angosturana*, *J. de*: *Juniperus deppeana*, *J. fl*: *Juniperus flaccida*, *J. mo*: *Juniperus monticola*, *P. ay*: *Pinus ayacahuite*, *P. ce*: *Pinus cembroides*, *P. de*: *Pinus devoniana*, *P. gr*: *Pinus greggii*, *P. ha*: *Pinus Hartwegii*, *P. le*: *Pinus leiophylla*, *P. mo*: *Pinus montezumae*, *P. oo*: *Pinus oocarpa*, *P. pa*: *Pinus patula*, *P. pi*: *Pinus pinceana*, *P. ps*: *Pinus pseudostrobus*, *P. te*: *Pinus teocote*, *P. ma*: *Podocarpus matudae*, *P. me*: *Pseudotsuga menziesii var glauca*, *T. hu*: *Taxodium huegelii*, *T. gl*: *Taxus globosa*.

A. gu: Abies guatemalensis, A. hi: Abies hidalgensis, A. re: Abies religiosa, H. be: Hesperocyparis benthamii, H. lu: Hesperocyparis lusitanica, J. an: Juniperus angosturana, J. de: Juniperus deppeana, J. fl: Juniperus flaccida, J. mo: Juniperus monticola, P. ay: Pinus ayacahuite, P. ce: Pinus cembroides, P. de: Pinus devoniana, P. gr: Pinus greggii, P. ha: Pinus Hartwegii, P. le: Pinus leiophylla, P. mo: Pinus montezumae, P. oo: Pinus oocarpa, P. pa: Pinus patula, P. pi: Pinus pinceana, P. ps: Pinus pseudostrobus, P. te: Pinus teocote, P. ma: Podocarpus matudae, P. me: Pseudotsuga menziesii var. glauca, T. hu: Taxodium huegelii, T. gl: Taxus globosa.

REFERENCIAS

A. Townsend Peterson. (24 de septiembre de 2019). BITC2 - ESS/EBV Course - Mapping Species Diversity [video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=u4iz56_HhKs&t=4s

Abies guatemalensis: GBIF.org (12 December 2023) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.mufeqf>

Abies hidalgensis: GBIF.org (3 August 2023) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.h3kg9f>

Abies religiosa: GBIF.org (10 June 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.qcujzg>

Aceves-Rangel, L. D., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., & Nájera-Luna, J. A. (2018). Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia*, 52(7), 1043-1057.

Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B., & Anderson, R. P. (2015). spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38(5), 541-545.

Allen, C. D. 2009. Muerte regresiva del bosque inducida por el clima: ¿un fenómeno mundial en aumento? *Unasylva* 60(231-232):43-49.

Aquino-Ramírez, M., Velázquez-Martínez, A., Villanueva-Díaz, J., Hervert-Zamora, H. L., Gómez-Guerrero, A., Reyes-Hernández, V. J., & Ramírez-Valverde, G. (2019). Climatic response of *Abies guatemalensis* Rehder in Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 25(2).

Arita-Watanabe, H. T. (2001). Patrones geográficos de diversidad de los mamíferos terrestres de América del Norte. México City: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe Final SNIB Conabio proyecto No. Q068

Arreola Ramos, R. (2016). Modelo de la distribución potencial de 24 especies forestales de bosque templado en México.

Bannister, P., & Neuner, G. (2001). Frost resistance and the distribution of conifers. *Conifer cold hardiness*, 3-21.

Barbosa, A. M. (2015). fuzzySim: Applying fuzzy logic to binary similarity indices in ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 6, 853–858.

Bárceñas Pazos, M. C. (2015). Modelación de la distribución espacial y el riesgo de extinción de especies maderables de *Pinus*: Una aproximación para el manejo forestal (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México).

Barrera Ramírez, R. (2020). Interacción y compatibilidad de diferentes métodos de injertado en patrones de *Pinus pseudostrabus* Lindl (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Bregman, T. P., Sekercioglu, C. H., & Tobias, J. A. (2014). Global patterns and predictors of bird species responses to forest fragmentation: implications for ecosystem function and conservation. *Biological Conservation*, 169, 372-383.

Brown, J. H. (1995). Macroecology. University of Chicago Press.

Canales-Perez, R., Hernández-León, S., Palacios-Romero, A., Hernández Lazcano, A., Rodríguez-Laguna, R., Suárez-Islas, A., González-Ávalos, J., & Arce-Cervantes, O. (2022). Distribución natural de *Taxodium huegelii* C. Lawson en el estado de Hidalgo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(72), 112-147. Epub 22 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1224>

Cannon, P. G., Angwin, P., & MacKenzie, M. (2016). Diseases of conifers in California. *Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems*, 549-582.

Castillo, R. F. D., Terrazas, T., Trujillo-Argueta, S., & Rivera García, R. (2020). Use of remote sensing and anatomical evidence at contrasting elevations to infer climate change sensitivity: preliminary results in *Pinus patula*. *Botanical Sciences*, 98(2), 248-263.

Ceccon E. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencia* 72: 46-53.

Chao, A., & Chiu, C. H. (2016). Species richness: estimation and comparison. *Wiley StatsRef: statistics reference online*, 1, 26.

Cobos, M. E., Jiménez, L., Nuñez-Penichet, C., Romero-Álvarez, D., y Simões, M. (2018). Sample data and training modules for cleaning biodiversity information. *Biodiversity Informatics*, 13, 49-50.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2013. Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía Básica. Área de Proyectos y Mercados Forestales de Carbono. Zapopan, Jal., México. 87 p.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2024. Programa Operativo de Sanidad Forestal 2024 de Hidalgo.
<http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/02%20Informes%20de%20acciones%20operativas/DiagnosticosEstatales/2024/Hidalgo.pdf> (consultado el 31 de marzo 2024).

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2014. Inventario Estatal Forestal y de Suelos-Hidalgo. Informe de resultados 2013-2014. Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México.

Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I. & Alcántara-Ayala, O. (2006). La familia Podocarpaceae en el estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77(001).

Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I., & Ríos-Muñoz, C. A. (2010). Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista chilena de historia natural*, 83(3), 421-433.

Cotler, H., S. Cram, S. Martínez-Trinidad and E. Quintanar. (2013). Forest soil conservation in central Mexico: An interdisciplinary assessment. *Catena* 104: 280–287. Doi: 10.1016/j.catena.2012.12.005.

Crisantos de la Rosa, E., & Blanco Contreras, E. (2020). Distribución potencial del ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en la República Mexicana (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”).

Crist T. O. y Veech A. J. (2006). Additive partitioning of rarefaction curves and species area relationships unifying alpha and beta diversity with sample size and habitat area. *Ecology Letters* 9:923-932.

Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J. T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F., & López-Sandoval, J. A. (2016). Potential distribution model of Pinaceae species under climate change

scenarios in Michoacán. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(2), 135-148.

Del Castillo, R.F., J.A. Pérez-de la Rosa, G. Vargas Amado y R. Rivera García. (2004). Coníferas. En: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.), Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, México, pp. 141-158

Earle, C. J. (Ed.). (1997–2024). Gymnosperm database. <http://www.conifers.org/index.php>. (Consultado el 21 de octubre 2017).

Eckenwalder, J. E. (2009). *Conifers of the world: the complete reference*. Timber press.

Enríquez-Peña, E. G. y Suzán-Azpiri. H. (2011). Estructura poblacional de *Taxodium mucronatum* en condiciones contrastantes de perturbación en el estado de Querétaro, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(1):153–167.

Esri. (2016). ArcGIS Version 10.3. 1. Environmental Systems Research Institute. *Inc.: Redlands, CA*.

Farjon, A. (2008). *A Natural History of Conifers*. Timber Press, Portland, Oregon.

Farjon, A. 2013. *Pinus montezumae*. *La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2013*: e.T42382A2976574. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42382A2976574.en>. (Consultado el 26 de marzo de 2025).

Farjon, A. A. (2017). *Handbook of the World's Conifers*. Brill: Leiden & Boston.

Farjon, A., & Styles, B. T. (1997). *Flora Neotropica. Pinus* (Pinaceae).

Farjon, A., Rosa, J. D. L., & Styles, B. T. (1997). *A field guide to the pines of Mexico and Central America* (pp. 147-pp).

Farjon, A., y Page, C. N. (eds.). (1999). *Conifers. Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN/SSC Conifer Specialist Group. Gland, Suiza, y Cambridge, Reino Unido de la Gran Bretaña, 121 pp.

Flores, A., Romero-Sánchez, M. E., Pérez-Miranda, R., Pineda-Ojeda, T., y Moreno-Sánchez, F. (2021). Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(63), 4-27.

Fossa, A. M. (2004), “Biodiversity patterns of vascular plant species in mountain vegetation in the Faroe Islands”, *Diversity and Distribution* (10), pp. 217–223.

Franklin, J. (2010). Mapping species distributions: Spatial inference and prediction. Cambridge: Cambridge University Press.

Galicia, L., L. Gómez-Mendoza and V. Magaña. (2015). Climate change impacts and adaptation strategies in temperate forests in Central Mexico: a participatory approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 20(1): 21–42. Doi:10.1007/s11027-013-9477-8.

García de la Serrana, R., Vilagrosa, A., & Alloza, J. A. (2015). Pine mortality in southeast Spain after an extreme dry and warm year: interactions among drought stress, carbohydrates and bark beetle attack. *Trees*, 29, 1791-1804.

García-Aranda, M. A., Cantú-Ayala, C., Estrada-Castillón, E., Pando-Moreno, M., & Moreno-Talamantes, A. (2012). Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 587-598.

García-Aranda, M. A., Méndez-González, J., & Hernández-Arizmendi, J. Y. (2018). Distribución potencial de *Pinus cembroides*, *Pinus nelsonii* y *Pinus culminicola* en el Noreste de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(13), 3-13.

García-García, S. A., Rascón-Solano, J., Pérez-Álvarez, S., Alanís-Rodríguez, E., & Hernández-Salas, J. (2024). Factores que originan la distribución espacial de las coníferas. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 21(49), 9-22.

Gaston, K. J. (2003). The structure and dynamics of geographic ranges. Oxford University Press, USA.

Gernandt, D., y Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (Coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85. S126-S133. <http://doi.org/10.7550/rmb.32195>

Global Biodiversity Information Facility. (2019). GBIF. Gbif.org. <https://www.gbif.org/>

Goldstein, A., H. Erickson, N. Gephart and S. Stevenson. (2011). Evaluation of land use policy and financial Mechanism that affect deforestation in Mexico.

Gómez Díaz, J. D., Monterroso Rivas, A. I., Tinoco Rueda, J. A., Toledo Medrano, M. L., Conde Álvarez, C., & Gay García, C. (2011). Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera*, 24(1), 31-52.

Gómez-Mendoza, L., Galicia, L., & Aguilar-Santelises, R. (2008). Sensibilidad de grupos funcionales al cambio climático en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Investigaciones geográficas*, (67), 76-100.

Gómez-Pineda, E., Sáenz-Romero, C., Ortega-Rodríguez, J. M., Blanco-García, A., Madrigal-Sánchez, X., Lindig-Cisneros, R., ... & Rehfeldt, G. E. (2020). Suitable climatic habitat changes for Mexican conifers along altitudinal gradients under climatic change scenarios. *Ecological Applications*, 30(2), e02041.

Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(1), 179-188.

Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2023). Aplicación de diferentes tipos de datos en el modelado de la distribución de especies arbóreas en México. *Colombia forestal*, 26(1), 48-63.

Hansen, E. M., Lewis, K. J., & Chastagner, G. A. (Eds.). (1997). *Compendium of conifer diseases* (pp. vi+-101). St. Paul: APS Press.

Hausfather, Z., & Peters, G. P. (2020). Emissions—the ‘business as usual story is misleading. *Nature*, 577(7792), 618-620.

Hernández-León, S., Little, D. P., Acevedo-Sandoval, O., Gernandt, D. S., Rodríguez-Laguna, R., Saucedo-García, M., Arce-Cervantes, O., Razo-Zárate, R. & Espitia-López, J. (2018). Plant core DNA barcode performance at a local scale: identification of the conifers of the state of Hidalgo, Mexico. *Systematics and Biodiversity*, 16(8), 791-806.

Herrera-Soto, G., González-Cásares, M., Pompa-García, M., Camarero, J. J., & Solís-Moreno, R. (2018). Growth of *Pinus cembroides* Zucc. in response to hydroclimatic variability in four sites forming the species latitudinal and longitudinal distribution limits. *Forests*, 9(7), 440.

Hesperocypris benthamii: GBIF.org (05 December 2023) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.yy587k>

Hesperocypris lusitanica: GBIF.org (08 May 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.pjwkph>

Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia of Quantitative Biology*, 22, 415-427.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Marco Geoestadístico. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.pdf (Consultado el 31 de marzo 2025)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2014). Cambio Climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf (Consultado el 10 de abril 2025).

IPCC (2002), Cambio climático y biodiversidad, documento técnico V del IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, OMM-PNUD, Ginebra.

Islas-Báez, A., Pérez-Miranda, R., González-Hernández, A., Romero-Sánchez, M. E., & Velasco-Bautista, E. (2015). Riesgo del hábitat de la Mariposa Monarca (*Danaus plexippus*) ante escenarios de cambio climático. *Ra Ximhai*, 11(5), 49-59.

Juniperus angosturana: GBIF.org (25 September 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.vk4ckw>

Juniperus deppeana: GBIF.org (24 May 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.274ub9>

Juniperus flaccida: GBIF.org (30 May 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.fbrzru>

Juniperus monticola: GBIF.org (16 May 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.g4smpz>

Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. & Kessler, M. (2017) Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 1-20.

Laurent, F. & M. Vilá (2003), "Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands", *Journal of Vegetation Science*, 14(3), pp. 389-398.

Lindzen, R. S. (1994). Climate dynamics and global change. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 26(1), 353-378.

López, L. A. C. (2020). Distribución potencial de los géneros *Picea* y *Juniperus* en México durante el Último Máximo Glacial (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA).

López-Martínez, J. I., Marroquín-Castillo, J. J., & Treviño-Garza, E. J. (2018). Modelo de la distribución potencial de *Pinus pinceana* Gord en el noreste de México. *Revista CienciaUANL*, 21(89), 41-47.

López-Upton, J., & Garcia-Martí, X. (2015). *Taxus globosa* Schltld.(Taxaceae). Distribution and diagnosis of an endangered yew. *Earth*, 4(3-1), 80-88.

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton university press.

Manzanilla Quijada, G. E. (2021). Diversidad, estructura y distribución potencial de áreas productivas en bosques templados de Nuevo León, México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Manzanilla Quiñones, U., Delgado Valerio, P., Hernández Ramos, J., Molina Sánchez, A., García Magaña, J. J., & Rocha Granados, M. D. C. (2019). Similaridad del nicho ecológico de *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (Pinaceae) en México: implicaciones para la selección de áreas productoras de semillas y de conservación. *Acta botánica mexicana*, (126).

Manzanilla, U., Aguirre, Ó. A., & Jiménez, J. (2018). ¿Qué es una conífera y cuántas especies existen en el mundo y en México?. Centro de investigación científica de Yucatán, AC Desde el Herbario CICY, 10, 168-175.

Manzanilla-Quijada, G. E., & Treviño-Garza, E. J. (2024). Posibles efectos del cambio climático en la distribución potencial de especies arbóreas de bosque templado en Nuevo León, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 11(3).

Manzanilla-Quijada, G. E., Manzanilla-Quiñones, U., Alanís-Rodríguez, E., & Silva-González, E. (2024). Efectos del cambio climático en la distribución de *Pinus chihuahuana* y *Pinus leiophylla*: una propuesta para la conservación en México: Effects of climate change on the distribution of *Pinus chihuahuana* and *Pinus leiophylla*: a proposal for the conservation of both species in Mexico. *e-CUCBA*, (21), 47-58.

Manzanilla-Quiñones, U., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., & Yerena-Yamallel, J. I. (2019). Distribución actual y futura del bosque subalpino de *Pinus hartwegii* Lindl en el Eje Neovolcánico Transversal. *Madera y bosques*, 25(2).

Martínez Meyer, E. (2012). Introducción al Modelado de Nichos Ecológicos y Distribuciones de Especies. Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México. México DF, México. 44 pp.

Martínez Meyer, E. (2017). Actualización de la evaluación de impactos del cambio climático sobre la distribución potencial de especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y plantas que habitan las islas de México.

Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., & Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5-24.

Martínez-Sánchez, J. N., Cuéllar-Rodríguez, L. G., Yerena Yamallel, J. I., Cavazos, M. T., & Gárate-Escamilla, H. A. (2023). Comparison of climatic databases in modeling the potential distribution of *Pinus cembroides* Zucc. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 14(79), 135-158.

Martínez-Sifuentes, A. R., Villanueva-Díaz, J., Crisantos de la Rosa, E., & Stahle, D. W. (2021). Modelado actual y futuro de la idoneidad de hábitat el ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.): una propuesta para conservación en México. *Botanical Sciences*, 99(4), 752-770.

Martinez-Sifuentes, A. R., Villanueva-Diaz, J., Manzanilla-Quinones, U., Becerra-Lopez, J. L., Hernandez-Herrera, J. A., Estrada-Avalos, J., & Velazquez-Perez, A. H. (2020). Spatial modeling of the ecological niche of *Pinus greggii* Engelm.(Pinaceae): a species conservation proposal in Mexico under climatic change scenarios. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 13(5), 426.

Martiñón-Martínez, R. J., Vargas-Hernández, J., López-Upton, J., Gómez-Guerrero, A., & Vaquera-Huerta, H. (2010). Respuesta de *Pinus pinceana* Gordon a estrés por sequía y altas temperaturas. *Revista fitotecnica mexicana*, 33(3), 239-248.

Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240.

Méndez-Encina, F. M., Méndez-González, J., Mendieta-Oviedo, R., López-Díaz, J. Ó., & Nájera-Luna, J. A. (2021). Ecological niches and suitability areas of three host pine species of bark beetle *Dendroctonus mexicanus* Hopkins. *Forests*, 12(4), 385.

Mohorte, A. P. (2018, mayo 9). Toda la superficie terrestre del Sistema Solar, comparada con la de la Tierra en un mapa. World Economic Forum. <https://es.weforum.org/agenda/2018/05/toda-la-superficie-terrestre-del-sistema-solar-comparada-con-la-de-la-tierra-en-un-mapa/>

Montoya, J. M., Donohue, I., & Pimm, S. L. (2018). Planetary boundaries for biodiversity: implausible science, pernicious policies. *Trends in ecology & evolution*, 33(2), 71-73.

Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, G.V.N. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'Amico, H.E. Strand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.F. Allnutt, J.F. Lamoreux, T.H. Ricketts, I. Itoua, W.W. Wettengel, Y. Kura, P. Hedao, and K. Kassem (2001). Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience* 51(11):933-938.

Parmesan, C., & G. Yohe. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421 (6918): 37-42.

Parry, M. L. (Ed.). (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.

Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102–117.

Pérez Díaz, C., & Méndez González, J. (2019). Efectos del cambio climático en la distribución actual y potencial de *rhynchopsitta terrisi*, *pinus pinceana* y *pinus cembroides*.

Pérez Miranda, R., Moreno Sánchez, F., González Hernández, A., & Arriola Padilla, V. J. (2014). Distribución de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et. Cham. y *Pinus montezumae* Lamb. ante el cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(25), 18-33.

Pérez Miranda, R., Romero Sánchez, M. E., González Hernández, A., Rosales Mata, S., Moreno Sánchez, F., & Arriola Padilla, V. J. (2019). Modelado de la distribución actual y bajo cambio climático de pinos piñoneros endémicos de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 218-237.

Pérez-Miranda, R. (2017). Distribución del *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. bajo escenarios de cambio climático en el Eje Neovolcánico, México. *Agro Productividad*, 10(8).

Pérez-Suárez, M., Ramírez-Albores, J. E., & Martínez-Campos, Á. R. (2024). Predicting the impacts of climate change on potential suitability habitats of three *Juniperus* trees in Mexico. *Plant Ecology*, 225(1), 37-51.

Peterson, A. T., & Soberón, J. (2012). Integrating fundamental concepts of ecology, biogeography, and sampling into effective ecological niche modeling and species distribution modeling. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 146(4), 789-796.

Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura, & M. B. Araújo. 2011. *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press.

Peterson, A.T. (2011) Ecological niche conservatism: a time-structured review of evidence. *Journal of Biogeography*, 38, 817–827.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259.

Pinus ayacahuite: GBIF.org (19 June 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.ddpgxq>

Pinus cembroides: GBIF.org (12 June 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.87k67q>

Pinus devoniana: GBIF.org (21 June 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.ggvxyf>

Pinus greggii: GBIF.org (07 May 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.m4wkp8>

Pinus hartwegii: GBIF.org (24 June 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.p9bb47>

Pinus leiophylla: GBIF.org (27 June 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.udcjp8>

Pinus montezumae: GBIF.org (01 July 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.byjrjva>

Pinus oocarpa: GBIF.org (02 July 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.b7wkv9>

Pinus patula: GBIF.org (03 July 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.bgswwks>

Pinus pinceana: GBIF.org (25 October 2023) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.rcjm4s>

Pinus pseudostrobus: GBIF.org (04 July 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.kddx8j>

Pinus teocote: GBIF.org (01 August 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.py2wkx>

Podocarpus matudae: GBIF.org (17 June 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.7kvbte>

Ponce Martínez, G., & Méndez González, J. (2019). Distribución actual y potencial de *Taxodium mucronatum* Ten. bajo escenarios de cambio climático (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”).

Pseudotsuga menziesii: GBIF.org (03 April 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.z3n29n>

Qiao, H., Soberón, J., & Peterson, A.T. 2015. No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution* 6(10): 1126-1136.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ramos-Dorantes, D. B., Villaseñor, J. L., Ortiz, E., & Gernandt, D. S. (2017). Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(1), 215-223.

Reynoso Santos, R., Pérez Hernández, M. J., López Báez, W., Hernández Ramos, J., Muñoz Flores, H. J., Cob Uicab, J. V., & Reynoso Santos, M. D. (2018). The ecological niche as a tool for predicting potential areas of two pine species. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(48), 47-68.

Rodríguez-Ruiz, R., Juárez-Agis, A., García-Sánchez, S., Olivier-Salome, B., Ortiz-Bermúdez, E., & Ramírez-Barrios, R. (2024). Modelado de idoneidad ambiental e implicaciones del cambio climático en la distribución de *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco para México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 58(1).

Romahn Hernández, L. F. (2020). Distribución pasada y futura de *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. & Cham en el oriente del Estado de México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).

Romero-Sanchez, M. E., Velasco-Garcia, M. V., Perez-Miranda, R., Velasco-Bautista, E., & Gonzalez-Hernandez, A. (2022). Different modelling approaches to determine suitable areas for

conserving egg-cone pine (*Pinus oocarpa* Schiede) plus trees in the central part of Mexico. *Forests*, 13(12), 2112.

Rosales Islas, E. (2023). Estructura poblacional ecológica y genética de *Abies hidalgensis* en condiciones naturales y de manejo forestal: Propuesta de manejo para la conservación.

Rosales-Islas, E., Barrera-Tello, D., Sánchez-González, A., Galván-Hernández, D. M., Hernández-León, S., & Octavio-Aguilar, P. (2023). Caracterización morfológica y genética de las poblaciones de *Abies* en Hidalgo, México: importancia de la identidad taxonómica para el aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, 101(2), 417-434.

Rossati, A. (2016). Global warming and its health impact. *The international journal of occupational and environmental medicine*, 8(1), 7.

Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Limusa, México, D.F. 504 p.

Rzedowski, J., (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.

Sáenz-Ceja, J. E., Sáenz-Reyes, J., Castillo-Quiroz, D., Castillo-Reyes, F., Muñoz-Flores, H. J., & Rueda-Sánchez, A. (2021). Potential areas for silvopastoral systems based on the ecological niche of two forage crops and three species of conifers. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 27(2), 289-308.

Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Duval, P., & Lindig-Cisneros, R. A. (2012). *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 275, 98-106.

Schmook, B., & Vance, C. (2009). Agricultural policy, market barriers, and deforestation: the case of Mexico's southern Yucatán. *World Development*, 37(5), 1015-1025.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)-Colegio de Postgraduados. (2002). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional. https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNATCP_2003_Memoria_Nacional_2001-

2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional (13 de enero de 2024).

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2010.

Simões, M. V., & Peterson, A. T. (2018). Utility and limitations of climate-matching approaches in detecting different types of spatial errors in biodiversity data. *Insect Conservation and Diversity*, 11(5), 407-414.

Solís Ruiz, J. G., & Méndez González, J. (2021). Distribución actual y potencial de *Pinus pseudostrobus* Lindl bajo escenarios de cambio climático.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *science*, 347(6223), 1259855.

Suárez-Mota, M. E., & Villasenor, J. L. (2011). Las compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 88, 55–66.

Taxodium huegelii: GBIF.org (20 May 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.4txz9n>

Taxus globosa: GBIF.org (14 May 2024) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.zxkj8g>

Terry, R. G., Bartel, J. A., & Adams, R. P. (2012). Phylogenetic relationships among the New World cypresses (*Hesperocyparis*; Cupressaceae): evidence from noncoding chloroplast DNA sequences. *Plant Systematics and Evolution*, 298, 1987-2000.

UICN. (2001). Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: Versión 3.1. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN.

Valdés, O. T., Huerta, Y. M. C., Chávez, A. G. T., & Garduño, M. V. G. (2004). Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: Estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 29(95), 61-82.

van Zonneveld, M., Jarvis, A., Dvorak, W., Lema, G., & Leibing, C. (2009). Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America. *Forest ecology and Management*, 257(7), 1566-1576.

Vazquez-García, J. A., Shalisko, V., Cuevas-Guzmán, R., Muñoz-Castro, M. A., & Manilla-Blandón, M. R. (2014). *Abies jaliscana* (Pinaceae): A new combination in section *Grandis* and a key to the species of *Abies* in western Mexico. *Phytotaxa*, 183(1), 27-36.

Vera Méndez, M. A., & Méndez González, J. (2021). Distribución actual y potencial de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. Bajo escenarios de cambio climático.

Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>

Villanueva-Díaz J, Constante-García V, Cerano-Paredes J, Martínez-Sifuentes AR. (2014). La cuenca San Martín y situación del ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el río Sabinas, Coahuila. Gómez Palacio, Durango, México: Centro Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto técnico 28. ISBN: 978-607-0319-2

Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González, N. A., & Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el monte Tlálóc, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(2), 175-185.

Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 559-902.

WFO (2024): World Flora Online. Published on the Internet; <http://www.worldfloraonline.org>. Accessed on: 30 Apr 2024

Yanchuk A. y Allard G. (2009). Los programas de mejoramiento de árboles para la salud de los bosques: ¿pueden seguir el mismo ritmo de los cambios climáticos? *Unasylva* 60(231/232):50-56.

Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., ... & Antonelli, A. (2019). CoordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(5), 744-751.