

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Áreas de Distribución Potencial de Tres Especies del Género *Pinus*

Libres de Plagas Forestales en México

Por:

JOSÉ ÓSCAR MANUEL LÓPEZ DÍAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Áreas de Distribución Potencial de Tres Especies del Género *Pinus*
Libres de Plagas Forestales en México

Por:

JOSÉ OSCAR MANUEL LÓPEZ DÍAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría




Dr. Jorge Méndez González
Asesor Principal



M.C. Héctor Darío González López
Coasesor



Dr. Mario Alberto García Aranda
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2017

DEDICATORIA

A mí hija

Mayte Guadalupe López Chávez quien se ha convertido en mí más preciado tesoro e inspiración para salir adelante, a ella dedico éste trabajo que con sus palabritas y abrazos tan fuertes me han mantenido siempre firme y fuerte.

A la memoria de mis padres

Consuelo Díaz Escobedo y Francisco López Salmerón quienes me dieron la vida y sacaron adelante con esfuerzo y dedicación, especialmente mi madre quien siempre estuvo a mi lado, por todos esos consejos y regaños, amor, apoyo y confianza depositada en mí, por esa inspiración obtengo la satisfacción de lo que ahora soy.

A mis hermanos

A todos ustedes por los momentos felices, enseñanzas y consejos brindados, que a pesar de la distancia llevo presente a cada uno de ustedes en mí corazón. Los quiero mucho, gracias por motivarme e impulsarme a seguir adelante, en especial a Francisco, Consuelo, Isabel, Luis Miguel, María de Jesús, Roxana y Arcadio.

A ti María Guadalupe Chávez Valdespino quien a pesar de las circunstancias siempre me has brindado tus consejos y apoyo, por cuidar siempre de mí más hermoso y preciado tesorito mí Mayte, sin tu apoyo y comprensión todo hubiese sido mucho más difícil. Gracias Lupita.

AGRADECIMIENTOS

A Dios agradezco la oportunidad que hasta el momento me ha dado de seguir adelante a pesar de las dificultades que acompañan la vida.

A mi alma mater “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” quien me ha cobijado durante toda la trayectoria hasta concluir mi carrera universitaria como Ingeniero Forestal, además de darme la oportunidad de conocer una gran diversidad de personas.

Al Dr. Jorge Méndez González por mostrarse comprometido y darme la oportunidad de realizar esta investigación, brindarme asesoría, su amistad, por sus consejos, tiempo, sus palabras de inspiración, confianza y conocimientos brindados. Gracias.

Al Dr. Mario Alberto García Aranda y al M.C. Héctor Darío González López por ser mis coasesores y contribuir con la revisión y asesoramiento en este estudio, por su valioso tiempo, conocimientos brindados, su compromiso y amistad. Gracias.

A mis amigos Carmela Sandoval García, José Trinidad García Velasco, Oliver Gómez Sánchez, María Isabel López Hernández, Cristóbal Velazco Lepe, Adrián Torres Guevara, Gustavo Ozuna Hinojosa, Arnulfo Torres Quiroz, Juan Manuel Flores, Dania Guadalupe Rivera, Agustín Cruz, Rubén González Garay, a mi amigo y hermano Luis Miguel López Díaz por su apoyo y amistad. Gracias.

A los profesores del Departamento Forestal por colaborar en mi formación profesional y personal, por sus conocimientos transmitidos y amistad brindada. Gracias.

Al M.C. Francisco Torres Aguirre por ser un gran apoyo durante mi estancia en Saltillo, Coahuila, por sus consejos, conocimientos transmitidos y amistad. Gracias.

A María Luisa López Salmerón, Raúl Guillén y familia por brindarme apoyo, tiempo y amistad, además de alentarme para salir adelante con mis estudios. Gracias.

Al Equipo Internacional de Identificación de Plantas y Pastizales (EIIPP) de la UAAAN por darme la oportunidad de vivir grandes experiencias a nivel internacional, por esa fuerza, unión, espíritu vencedor y logros internacionales alcanzados. Gracias.

Al Dr. Juan Manuel Martínez Reyna por su dedicación, espíritu triunfador, enseñanzas transmitidas en la identificación de plantas de pastizales, tiempo, confianza y amistad brindada. Gracias.

A Rio Mora National Wildlife Refuge – U.S. Fish and Wildlife Service y su personal a cargo el Dr. Luis Enrique Ramírez, la M.C. Shantini Ramakrishnan, Dr. Brian Miller y familia, Carmen Marsella Briones, Lauren Karle, Heidi Strickfaden y Rob Larañaga por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales en su área natural protegida, por su paciencia, confianza, amistad y sobre todo por integrarme a su equipo de trabajo y familia. Gracias.

A comisión Nacional de Fomento Educativo (CONAFE) quien me dio la oportunidad de impartir mis conocimientos a niños y jóvenes de primaria y secundaria en la Sierra de Durango y así ganarme una beca que me ayudó a concluir satisfactoriamente mi formación profesional como Ingeniero Forestal.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.1.1 Objetivos específicos:	3
1.2 Hipótesis:.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Cambio Climático.....	4
2.2 Proyecciones bioclimáticas	5
2.3 Modelos y estudios de proyecciones futuras	6
2.4 Modelos de distribución	8
2.5 Distribución de especies	10
2.6 MaxEnt como modelo de proyección actual y futura.....	10
2.7 Distribución del género <i>Pinus</i> en México	12
2.7.1 Especies involucradas en el presente estudio	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Descripción del área de estudio.....	17
3.2 Especies estudiadas y sus registros.....	17
3.3 Variables bioclimáticas	17
3.4 Modelación y validación de los modelos	19
3.5 Cálculo de superficies de pino libre de plagas	20
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Evaluación de los modelos mediante AUC.....	21

4.2	Porcentaje de contribución de las variables climáticas que determinaron la distribución potencial de las especies de pino y plagas.....	23
4.3	Perfil bioclimático actual y futuro para <i>Pinus</i> y plagas.....	27
4.4	Distribución potencial actual y futura de especies de pino y plagas	30
CONCLUSIONES		70
LITERATURA CITADA		71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables ambientales Bioclim usadas para generar los modelos de distribución potencial actual y futura de tres especies de Pino y plagas a nivel nacional mediante el algoritmo MaxEnt.....	18
Cuadro 2. Valores de área bajo la curva de los modelos de distribución potencial generados por MaxEnt a nivel nacional, México.....	21
Cuadro 3. Contribución por variable climática para generar el modelo de distribución potencial por especie y plaga en México mediante MaxEnt.....	23
Cuadro 4. Tres principales variables bioclimáticas (Bioclim) que contribuyeron a definir la distribución potencial de los pinos y plagas estudiadas.	24
Cuadro 5. Perfil bioclimático actual y futuro de <i>Pinus</i> y plagas respecto a las seis variables climáticas más importantes que definen su distribución potencial en México.....	27
Cuadro 6. Superficie de la distribución potencial actual y futura de pino y plagas y áreas potenciales de pino (superficie estimada a un umbral de probabilidad ≥ 0.5) libres de plaga en el territorio Mexicano.	30
Cuadro 7. Cambios porcentuales en la superficie de distribución potencial actual y futura de pino y plagas y áreas potenciales de pino (superficie estimada a un umbral de probabilidad ≥ 0.5) libres de plaga en el territorio Mexicano.....	32
Cuadro 8. Número de registros de especie de pino y plaga por nivel de probabilidad de distribución potencial obtenida con MaxEnt.....	45
Cuadro 9. Número de registros de presencia por especie y plaga en los diferentes estados del territorio Mexicano.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución estatal del área potencial actual y futura (2050_rcp45) de tres especies de <i>Pinus</i> y plagas en México.	37
Figura 2. Distribución estatal del área potencial actual y futura (2050_rcp85 y 2070_rcp45) de tres especies de <i>Pinus</i> y plagas en México.	37
Figura 3. Distribución estatal del área potencial actual y futura (2070_rcp85) de tres especies de <i>Pinus</i> y plagas en México.	38
Figura 4. Distribución estatal del área potencial de <i>Pinus arizonica</i> libre de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuro en México.....	41
Figura 5. Distribución estatal del área potencial de <i>Pinus pseudostrobus</i> libre de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuro en México.....	41
Figura 6. Distribución estatal del área potencial de <i>Pinus teocote</i> libre de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuro en México.	42
Figura 7. Distribución estatal del área potencial de <i>Pinus arizonica</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Pinus teocote</i> libre totalmente de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuros en México.....	44
Figura 8. Distribución potencial de <i>Pinus arizonica</i> escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.....	49

Figura 9. Distribución potencial de descortezador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.....	50
Figura 10. Distribución potencial de barrenador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.	51
Figura 11. Distribución potencial de defoliador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.	52
Figura 12. Distribución potencial de <i>Pinus arizonica</i> libre de descortezador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	53
Figura 13. Distribución potencial de <i>Pinus arizonica</i> libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	54
Figura 14. Distribución potencial de <i>Pinus arizonica</i> libre de defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	55
Figura 15. Distribución potencial de <i>Pinus arizonica</i> libre de descortezador, barrenador y defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.	56
Figura 16. Distribución potencial de <i>Pinus pseudostrobus</i> escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.....	57

Figura 17. Distribución potencial de descortezador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.....	58
Figura 18. Distribución potencial de barrenador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.	59
Figura 19. Distribución potencial de defoliador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.	60
Figura 20. Distribución potencial de <i>Pinus pseudostrabus</i> libre de descortezador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.	61
Figura 21. Distribución potencial de <i>Pinus pseudostrabus</i> libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	62
Figura 22. Distribución potencial de <i>Pinus pseudostrabus</i> libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	63
Figura 23. Distribución potencial de <i>Pinus pseudostrabus</i> libre de descortezador, barrenador y defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.	64
Figura 24. Distribución potencial de <i>Pinus teocote</i> escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.....	65

Figura 25. Distribución potencial de <i>Pinus teocote</i> libre de descortezador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	66
Figura 26. Distribución potencial de <i>Pinus teocote</i> libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	67
Figura 27. Distribución potencial de <i>Pinus teocote</i> libre de defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	68
Figura 28. Distribución potencial de <i>Pinus teocote</i> libre de descortezador, barrenador y defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.....	69

ANEXOS

Anexo 1. Perfil bioclimático que determina la distribución potencial de <i>Pinus arizonica</i> en México.....	81
Anexo 2. Perfil bioclimático que determina la distribución potencial de <i>Pinus pseudostrobus</i> en México.....	82
Anexo 3. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de <i>Pinus teocote</i> en México.....	83
Anexo 4. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de descortezador en México.....	84
Anexo 5. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de barrenador en México.....	85
Anexo 6. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de defoliador en México.....	87
Anexo 7. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario actual en México.....	88
Anexo 8. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2050_rcp45 en México.....	90
Anexo 9. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2050_rcp85 en México.....	93
Anexo 10. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2070_rcp45 en México.....	95
Anexo 11. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2070_rcp85 en México.....	97

RESUMEN

Los patrones climáticos y ambientales que determinan la distribución geográfica de las plantas sufrirán cambios drásticos por los efectos del cambio climático, en especial las que se distribuyen en las partes altas como el género *Pinus*, el cual ha estado bajo presión climática, antropogénica y natural al ser atacado por plagas y enfermedades entre ellas descortezador, barrenador y defoliador spp., razón para predecir y proyectar la distribución potencial de tres especies de pino libre de tres de plagas forestales en México en base a 1,744 registros de presencia para *Pinus* (*Pinus arizonica*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*) y 1,120 para plagas (descortezador, barrenador y defoliador) aportados por la CONAFOR, 19 variables climáticas actuales y futuras (2050_rcp45 y 85, 2070_rcp45 y 85) basadas en el modelo MIROC5 y MaxEnt como herramienta de modelación. La evaluación de los modelos de distribución potencial fue mediante valores del Área Bajo la Curva (AUC), obteniendo también la superficie total y por estado de las especies y pino libre de plagas, así como su perfil bioclimático. Los modelos de distribución potencial obtuvieron valores mayores a 0.90 y las variables Bio13, Bio18, Bio12, Bio6, Bio4 y Bio10 fueron las que más contribuyeron a la predicción del modelo. El área de distribución potencial de pinos y plagas disminuye en escenarios futuros respecto al actual, presentando mayor pérdida *Pinus arizonica* Engelm con 77.1, barrenador spp. 68.3 y *Pinus arizonica* libre de plagas con un 79.2 % al periodo 2070_rcp85.

Palabras clave: cambio climático, MaxEnt, rcp, proyección futura, *Pinus*.

ABSTRACT

The climatic and environmental patterns that define plant geographical distribution will suffer drastic changes due to effects of climate change, especially those are distributed in the high lands like a genus *Pinus*, that have been under climatic, anthropogenic and natural pressure being damaged by pests and diseases among them spp. bark beetle, tree borer and defoliator tree, being reason to predict and project special potential distribution of three pine species free of three forest pests in Mexico. The potential distribution of *Pinus* (*Pinus arizonica*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*) and pests (descortezador, barrenador y defoliador) were based on 1,744 and 1,120 presence records contributed by CONAFOR, using MaxEnt algorithm and 19 actual and future climatic variables based on MIROC5 model. The method to assessment potential distribution models of each specie and pest was through values of the area under curve (AUC). We obtain too the general surfaces and by state of the studied species and free pine surfaces forest pest and the bioclimatic profile. The AUC values from potential distribution model were greater than 0.90 and the variables Bio13, Bio18, Bio12, Bio6, Bio4 y Bio10 were the ones that contributed most to the prediction of model. The area of potential distribution of pine and pests decreases in future scenarios with respect to the current, presenting greater loss *Pinus arizonica* Engelm with 77.1, tree borer 68.3 and pests-free *Pinus arizonica* 79.2 % to the 2070_rcp85 period.

Keywords: climatic change, MaxEnt, rcp, future projection, *Pinus*.

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático es el principal problema en la actualidad (Velázquez, 2005), generado por las concentraciones de CO₂ (Ordoñez y Masera, 2001; González *et al.*, 2003), ocasionando aumento global en las temperaturas de 1.4 a 5.8 °C en el siglo XXI (Arnell, 2006; Collins *et al.*, 2013; IPCC, 2014) y hasta de 0.6 a 2.3 °C para 2050 (Trejo *et al.*, 2007).

Los cambios en el clima y uso de suelo producirán cambios en plantas afectando su fenología (Parmesan, 2006) y su distribución (Walther, 2010), ya que la precipitación aumentará en regiones de latitudes altas (IPCC, 2001) volviendo las plantas vulnerables a plagas (Walther, 2010), tal es el caso de las coníferas que actúan como hospedero (Ruiz *et al.*, 1997; Burgos-Solorio, 1998; Salinas-Moreno *et al.*, 2010). Esto ha ocasionado pérdidas por muérdago de 16,000, descortezador 15,000 y defoliador 12,000 has desde 1999-2010, mientras que en 2016 las pérdidas por defoliador fueron de 6,743 has (CONAFOR, 2016).

México posee una alta diversidad de *Pinus*, alberga cerca del 35 al 40 % del total de especies (Rzedowzki, 1978; Sánchez-González, 2008) y más del 50 % de ellas son endémicas o se restringen a determinados rangos geográficos (Leal-Nares *et al.*, 2012), caracterizándose por tener una gran importancia ecológica, económica y social (FAO, 2000; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

En la actualidad se han realizado una gama de estudios referentes a la distribución potencial de especies (Phillips, 2004; Phillips *et al.*, 2006) y usando distintos modelos para proyectar la distribución espacial (Elith, 2006), tales como BIOCLIM, GARP (Stockwell y Peters, 1999) y MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006; Doko *et*

al., 2008; Elith *et al.*, 2011), éste último predice la distribución en tiempo y espacio, ya que solo requiere registros de presencia de la especie (Phillips *et al.*, 2006; Phillips y Dudik, 2008) y variables ambientales, topográficas, climáticas (Hijmans *et al.*, 2005; Felicísimo, 2012), edáficas (Cárdenas *at al.*, 2016), biogeográficas (Elith *et al.*, 2011).

MaxEnt considerado como el mejor algoritmo de predicción (Elith *et al.*, 2006; Phillips y Dudik, 2008; Kumar *et al.*, 2009) se ha usado para definir zonas de conservación (Morales, 2012), modelar especies en algún tipo de protección (Syfert *et al.*, 2014), especies invasivas (Morales, 2012; Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez, 2014), distribución potencial de plagas forestales (Villacide y Corley, 2003), modelar la distribución potencial de *Pinus* (Téllez *et al.*, 2004; Ramos-Dorantes *et al.*, 2017), como *Pinus herrerae* (Ávila *et al.*, 2014), *Pinus ayacahuite* Ehren y *Pinus hartwegii* Lindl (Gutiérrez y Trejo, 2014), *Pinus arizonica* Engelm, *Pinus devoniana* Lindl, *Pinus durangensis* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl (Téllez *et al.*, 2004), *Pinus cembroides* Zucc, entre otras (Aguirre y Duivenvoorden, 2010), de tal manera que pueden ser proyectadas al futuro bajo diferentes escenarios rcp (Gutiérrez y Trejo, 2014), en los periodos 2050 y 2070 a diferentes concentraciones de CO₂, mostrando las temperaturas promedio para cada rcp_26 (1 °C), rcp_45 (1.4 a 1.8 °C), rcp_60 (1.3 a 2.2 °C) y rcp_85 (2.0 a 3.7 °C) (rcp_26 y 45 concentraciones bajas y rcp_60 y 85 concentraciones altas) (Collins *et al.*, 2013).

En México no existen estudios sobre la distribución potencial actual y futura de las coníferas libres de plagas forestales, por lo cual se desconoce su rango bioclimático, su superficie y su distribución en el país. Predecir la distribución potencial futura de las coníferas es de gran importancia, ya que juegan un papel muy importante como reguladores del cambio climático y de igual manera será una herramienta para definir

zonas de conservación efectiva, confiable y libre de plagas aplicando el manejo adecuado.

1.1 Objetivo general

Modelar la distribución potencial actual y futura de *Pinus arizonica* Engelm, *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus teocote* Schltdl, descortezador, barrenador y defoliador en diferentes escenarios climáticos.

1.1.1 Objetivos específicos:

Modelar la distribución potencial actual y futura de *Pinus arizonica*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y de descortezador, barrenador y defoliador en México para detectar regiones geográficas de pino libre de plaga.

Determinar el área de distribución potencial de cada especie de pino libre de cada una de las plagas para los escenarios actual y futura proyectada a los escenarios 2050_rcp45, 2050_rcp85, 2070_rcp45 y 2070_rcp85 (umbral de probabilidad ≥ 0.5).

Determinar el perfil bioclimático actual y futuro para *Pinus arizonica*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y de descortezador, barrenador y defoliador.

1.2 Hipótesis:

Las áreas potenciales actuales de *Pinus arizonica*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* disminuyen y las de plaga aumentan a proyecciones futuras en México.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cambio Climático

El IPCC (2013) define cambio climático como la variación estadística del estado del clima respecto a un valor medio de la variación de sus propiedades, que pueden persistir por decenios, fenómeno que puede deberse a procesos naturales, modulaciones de ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos atribuibles a las emisiones atmosféricas y cambios de uso de suelo, entendiéndose como clima el estado promedio del tiempo, es decir, de las variaciones atmosféricas correspondientes a periodos muy prolongados de tiempo.

En la actualidad la humanidad se ha enfrentado a diversos problemas educativos, sociales, económicos y ambientales a nivel global donde el principal es el cambio climático, creciendo de manera exponencial (Velázquez, 2005) por motivo de las concentraciones de CO₂ (371 ppm) (Ordóñez y Masera, 2001; González *et al.*, 2003) atribuidas al uso de combustibles fósiles y cambio de uso de suelo (O'Rourke, 2006), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) que surge de la actividad agrícola (IPCC, 2007; 2013).

Debido al aumento de concentraciones en la atmósfera se ha producido un aumento de la variabilidad climática (IPCC, 2001; Trejo *et al.*, 2007), tal es el caso del aumento de temperaturas a nivel global que oscilarán de entre 1.4 a 5.8 °C en el transcurso del siglo XXI (IPCC, 2001; Velázquez, 2005; Arnell, 2006), asumiendo rangos similares al proyectarse bajo diferentes escenarios rcp en los periodos 2050 y 2070 (Collins *et al.*, 2013), de precipitación (del-Val y Sáenz-Romero, 2017), depresiones tropicales, huracanes (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998) y el nivel del mar en un rango de

0.09 a 0.88 m (IPCC, 2001). Sin embargo para México desde la actualidad hasta el 2050 se proyectan cambios de clima en aproximadamente el 40 % del territorio mexicano e incrementos de las temperaturas que van desde 0.6 a 2.3 °C (Trejo *et al.*, 2007).

Las alteraciones climáticas han causado también la pérdida de biodiversidad (plantas y animales, además de su hábitat) (Trejo, 2007) e incluso también que algunas especies puedan llegar a desaparecer (Ramírez-Villegas, 2014) sobre todo para aquellas que presentan un ciclo de vida prolongado como los árboles. Sin embargo de acuerdo con Cruz-Cárdenas *et al.* (2016) el cambio climático condiciona la reducción o el aumento de los rangos de distribución geográfica de las especies.

2.2 Proyecciones bioclimáticas

Las proyecciones de los cambios en el clima se elaboran empleando una jerarquía de modelos climáticos sencillos o integrales, los cuales simulan cambios en un conjunto de escenarios antropogénicos, bajo trayectorias de concentración representativas (rcp) basadas en diversas concentraciones de CO₂ siendo más elevadas en el 2100 con respecto al periodo actual. Las proyecciones apuntan a que es probable que el aumento de la temperatura media global en superficie de 2081 a 2100, en relación con 1986 a 2005, se sitúe en los rangos de 0.3 °C a 1.7 °C (rcp_26), de 1.1 °C a 2.6 °C (rcp_45), de 1.4 °C a 3.1 °C (rcp_60), y de 2.6 °C a 4.8 °C (rcp_85) (IPCC, 2013).

Proyección climática: hace referencia a la respuesta simulada del sistema climático a un escenario de emisión futuro o concentración de gases invernadero (Greenhouse gases GHGs) y aerosoles, obteniéndose usando modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se distinguen de las predicciones climáticas por su dependencia de la emisión, concentración o forzamiento radiativo de un escenario utilizado, el cual

está basado en supuestos como el futuro socioeconómico y desarrollos tecnológicos que pueden o no suceder (IPCC, 2014).

Escenario climático se considera una representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque estos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo sobre el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual (IPCC, 2013).

Escenario de emisiones Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero, aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre las fuerzas que las determinan (por ejemplo, el desarrollo demográfico y socioeconómico y la evolución tecnológica) y las principales relaciones entre ellos. Los escenarios de concentraciones, obtenidos a partir de los escenarios de emisión, se introducen en un modelo climático para obtener proyecciones climáticas (IPCC, 2013).

2.3 Modelos y estudios de proyecciones futuras

Los modelos climáticos son representaciones matemáticas de las interacciones de la atmósfera, océanos, superficie terrestre y glaciares que simulan el clima real o potencial (González *et al.*, 2003).

Uno de los principales modelos para modelar el cambio climático y su variabilidad es el llamado Coupled General Circulation Model (CGCM), llegando a ser uno de los más importantes, aunque presenta irregularidades al hacer simulaciones del cambio climático en cuanto a precipitación y la temperatura superficial del mar (por sus siglas en inglés SST).

Modelo Interdisciplinario en la Investigación del Clima (“Model for Interdisciplinary Research on Climate,” MIROC) puede obtener una predicción sofisticada, revelando una sensibilidad equilibrada del clima. Aunque no se cuenta con un método específico para medir el rendimiento del modelo, el sesgo que presentan las variables son evaluadas en términos de su efectividad y patrones espaciales de ajuste (Watanabe *et al.*, 2010).

Godefroid et al. (2016) usaron en su estudio el Modelo Climático Global (GCMs) MIROC 5, con el cual se simuló la distribución potencial futura de una especie en 2050 y 2070, se seleccionó MIROC 5 porque las predicciones de los rangos de temperatura y precipitación a futuro son muy confiables de acuerdo a los procesos de evaluación usados en el Quinto Reporte de Evaluación o Fifth Assessment Report (AR5) del IPCC.

Existen algunos estudios que han proyectado a escenarios futuros de cambio climático como la distribución potencial de especies, o simplemente el cambio climático, como el realizado por parte del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2014) en el cual predice los aumentos o descensos de temperatura, precipitación y viento para México utilizando los modelos del CMIP5 (CNRM-CM5, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3) bajo escenarios rcp_45 y rcp_85, encontrando un aumento de temperatura de 3 °C (periodo 2015 a 2039) y de 2.5 a 5 °C

(periodo 2075 a 2099) para todo México bajo un rcp_85. En cuanto a precipitación podría verse reducida en invierno y el verano hasta con 20 % menos lluvia y aumentar en octubre (INECC, 2014).

2.4 Modelos de distribución

Los modelos de distribución de especies son representaciones cartográficas de un adecuado hábitat para la presencia de una especie en función de las variables (climáticas o ambientales) empleadas para generar dicha representación (Mateo *et al.*, 2011). Por otra parte Philips y Dudík (2008) los consideran como una herramienta empírica, robusta, repetible y fácil de utilizar, que pueden ayudar a identificar zonas potenciales a conservar y/o restaurar. Un modelo de distribución debe cumplir con tres condiciones, 1^a deben ser potencialmente explicativos, 2^a muestren variabilidad significativa del área de estudio y 3^a que sean independientes (Muñoz y Felicísimo, 2004).

Una amplia variedad de modelos de distribución han sido desarrollados para estudiar diversos aspectos biogeográficos, biología de conservación, ecología y evolución (Elith *et al.*, 2006), investigación del cambio climático y el manejo de especies y su hábitat. Los modelos están generalmente basados en varias hipótesis sobre como los factores ambientales controlan la distribución de especies y comunidades (Guisan y Zimmermann, 2000). A lo largo de la evolución en la bibliografía científica dichos modelos han recibido denominaciones diferentes como modelos de nicho (niche models), modelos de idoneidad (suitability models) y modelos predictivos de hábitat (predictive habitat distribution models) (García, 2008).

Hoy en día existen aproximadamente 16 modelos de este tipo que utilizan distintos métodos, y diferentes tipos de datos para desarrollar las predicciones (Elith *et*

al., 2006), conocidos como modelos de nicho, modelos de idoneidad, modelos predictivos del hábitat o modelos de distribución de especies (García, 2008), tales como BIOCLIM, GARP (Stockwell y Peters, 1999) y MaxEnt (Doko *et al.*, 2008; Elith *et al.*, 2011), considerado como multiuso por basarse en la máxima entropía permitiendo hacer predicciones usando solo datos de presencia u ocurrencia de cualquier especie (Phillips *et al.*, 2006).

En los estudios de distribución potencial de especies se ha usado diferente porcentaje de registros de presencia para entrenamiento del modelo y validación del mismo, tal es el caso de Prieto-Torres *et al.* (2015) y Zutta *et al.* (2012) empleando un 70 % para entrenamiento y 30 % para validación, algunos otros como Ramos-Dorantes *et al.* (2017), Cruz-Cárdenas (2016) y Martínez-Méndez (2016). Las técnicas más usadas para evaluar los modelos de distribución de especies es mediante los valores arrojados en las curvas ROC-AUC (Araujo *et al.*, 2005) y mediante las gráficas arrojadas en las pruebas de Jackknife (Ávila *et al.*, 2014). También Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez (2014) clasifican los modelos con un valor de AUC = 0.8 a 0.9 como bueno, y de 0.9 a 1.0 excelentes.

Las AUC

La curva ROC/AUC evalúa la habilidad predictiva de los modelos de distribución generados por medio de un gráfico, indicando el área bajo la curva (AUC), la cual representa la relación entre el porcentaje de presencia correctamente predicha (sensibilidad) y uno menos el porcentaje de ausencias correctamente predichas (especificidad) (García, 2008).

2.5 Distribución de especies

La distribución de las especies y comunidades está relacionada con las condiciones climáticas en las que se establecen (Gray, 2005), siendo el clima un factor que define los patrones globales de estructura y composición de especies en plantas y animales. Por otra parte los cambios en el clima y uso de suelo producirán cambios en plantas afectando su fenología (Parmesan, 2006) y su distribución (Walther, 2010). También el clima delimita la distribución de las especies, los rangos fisiológicos óptimos que una especie puede tolerar en cuanto a temperatura y precipitación y cuando estos se exceden las especies no pueden llevar a cabo su ciclo de vida de manera adecuada (Walter *et al.*, 2002).

La distribución potencial de especies describe el espacio o lugar donde las condiciones son adecuadas para que una especie prospere y también definir si debe ser considerada como en riesgo o no, atribuyendo pérdidas por motivos de deforestación o la fragmentación y destrucción de hábitats (Phillips *et al.*, 2004).

2.6 MaxEnt como modelo de proyección actual y futura

MaxEnt (*Máximum Entropy*) es un método de inteligencia artificial que se basa en el principio estadístico de máxima entropía (Phillips y Dudík, 2008), con el propósito general de hacer predicciones o inferencias en base a información incompleta (Phillips *et al.*, 2006) estimando la distribución de probabilidad objetivo o desconocida a través de la distribución de probabilidad de máxima entropía (cercana a la uniforme), delimitada por un conjunto de restricciones que representan información incompleta sobre la distribución objetivo (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016), ya que al tener datos solo de

presencia, MaxEnt crea puntos de pseudoausencias y divide la base de datos de registros de presencia en dos grupos, el primero se utiliza para construir el modelo mediante los datos de entrenamiento, mientras que el segundo es para evaluar el modelo al utilizar los datos de prueba (Phillips *et al.*, 2006).

En la actualidad el uso de técnicas de máxima entropía (MaxEnt) y algoritmos genéticos (GARP) han tomado fuerza, lo que ha generado un auge en estudios donde se han empleado modelos de distribución geográfica por ser fácil de aplicar y eficientes en resultados, como MaxEnt (Phillips y Dudik, 2008), que con el logaritmo de máxima entropía, es confiable y eficaz al arrojar resultados en una proyección de distribución espacial potencial, aumentando la precisión cuando se cuenta con menos registros (Phillips *et al.*, 2006).

Esto hace que este método pueda ser utilizado en diversas áreas dentro de una amplia gama de problemáticas. Dentro de las diversas aplicaciones de MaxEnt que se pueden nombrar se encuentran la priorización de zonas para iniciativas de conservación biológica y restauración ecológica, modelaciones de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, y la evaluación de patrones de propagación de especies invasivas (Morales, 2012).

A pesar de que existe un amplia gama de modelos similares, MaxEnt posee tres ventajas por sobre los demás: primero, se requiere solo datos de presencia, versus otros modelos que requieren datos de presencia y ausencia; segundo, su consistente buen desempeño en comparación con otros 16 métodos similares (Elith *et al.*, 2006), especialmente con un número pequeño de muestras (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2008) y tercero, su disponibilidad gratuita.

2.7 Distribución del género *Pinus* en México

Los pinos tienen gran importancia ecológica, económica y social, por su alto valor económico, siendo fuente de madera, leña, resinas, semillas comestibles y otros productos, además, ofrecen importantes servicios ambientales (agua, oxígeno, recreación, captura de carbono) e influyen en el clima regional (FAO, 2000; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

México es considerado como una región donde se encuentran prácticamente todos los tipos de ecosistemas, algunos como la Selva Húmeda, Matorral Xerófilo, praderas de alta montaña y Bosques templados. México posee una alta diversidad de *Pinus*, alberga cerca del 35 al 40 % del total de especies (Rzedowski, 1978) y más del 50 % de ellas son endémicas o se restringen a determinados rangos geográficos (Sánchez-González, 2008; Leal-Nares *et al.*, 2012). Siendo también considerado el centro de mayor diversidad de pinos, albergando alrededor del 50 % de las especies conocidas. De acuerdo con Rzedowski (1978) se pueden encontrar en diversos tipos de vegetación como bosque de pino, matorral de pino, bosque de *Abies*, *Pseudotsuga* y *Picea*, bosque de *Juniperus* y bosque de *Cupressus*, incluyendo también bosque mesófilo de montaña, bosque mixto de pino-encino o viceversa.

Los pinos de México se distribuyen en cinco ecorregiones principales (Sánchez-González, 2008; Rzedowski, 1978; Eguilluz, 1982):

I. Baja California Norte y Sur

II. Sierra Madre Occidental: Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Zacatecas.

III. Sierra Madre Oriental: Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí y Tamaulipas.

IV. Faja Volcánica: Aguascalientes, Colima, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.

V. Sierra Madre del Sur, Macizo de Oaxaca, Sierra de San Cristóbal, Sierra de Oaxaca y Península de Yucatán: Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Campeche y Quintana Roo.

El género *Pinus* tiene un amplio rango de dispersión altitudinal que va desde los cero m en condiciones de clima caliente húmedo a 3,650 msnm en el norte del país (Rzedowski, 1978; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014) y 4,000 msnm en el centro y sur del país (Eguiluz, 1982; Yeaton, 1982), e incluso hasta los 4,100 msnm localmente. Los rangos de precipitación en los que se encuentran distribuidos son de 350 a más de 1,000 mm anuales, encontrándose en una tolerancia de temperatura media anual de 6 a 28°C, prefiriendo cubiertas de rocas ígneas, gneis, esquistos, margas, areniscas, lutitas y calizas, además de rocas volcánicas, en sus suelos con un p.H. entre 5 y 7, además de crecer en suelos cálcicos, presentando variaciones dadas entre tierras rojas o arcillosas, derivadas de asfaltos e incluso coloraciones cafés, negros u oscuros y texturas livianas, desarrollándose muy bien en suelos profundos (Rzedowski, 1978).

2.7.1 Especies involucradas en el presente estudio

***Pinus arizonica* Engelm**

Árbol de 25 a 35 m de altura, fuste de hasta 1 m de diámetro, copa irregular, grupos de 3, 4 a 5 acículas por fascículo, conos ovoides, semilla oblongas con alas articuladas (Rentería *et al.*, 1997). Se desarrolla en altitudes de los 1,800 a 3,150 msnm

en un rango de precipitación de 600 a 1,000 mm y temperaturas de 10 a 20 °C (Rzedowski, 1978). Se desarrolla en suelos profundos con materia orgánica o raramente someros. Se asocia frecuentemente con *Quercus durifolia* Seemen ex Loes, *Q. hartwegii* Benth, *Q. sideroxyla* Humb. & Bonpl, *Pinus engelmannii* Carr, *P. leiophylla* Schl & Cham, *P. teocote* Schltld et Cham., *P. chihuahuana* Engelm, *Juniperus deppeana* Steud. y *Arctostaphylos pungens* Kunth (Rentería et al., 1997), distribuyéndose en los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora.

Pinus arizonica es una de las especies de mayor uso y distribución en el suroeste del estado de Chihuahua, donde cubre 80% de la superficie forestal y genera al año aproximadamente 160,000 m³ de madera.

Se han realizado estudios para *Pinus arizonica* para predecir el ahusamiento y volumen comercial, tales como Quiñones-Barraza et al. (2014) quien lo hizo para cinco especies de pino (*Pinus arizonica*, *Pinus durangensis*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote*) en Durango y Pompa et al. (2009) quienes solo se enfocaron en *Pinus arizonica* en el estado de Chihuahua. También en la Sierra Madre Occidental en los Bosques del área experimental Madera, al noroeste de Chihuahua, se evaluó el comportamiento de la repoblación natural de *Pinus arizonica* bajo diferentes coberturas. La germinación de *P. arizonica* fue mayor (27,541 plántulas/ha⁻¹) donde la cobertura fue menor (64.50 m²), caso contrario en la cobertura mayor (354.0 m²) con menor número de plántulas (18,620 plantas ha⁻¹), lo cual indica la especie requiere mayores condiciones de luz y sustrato para germinar.

***Pinus pseudostrobus* Lindl**

Pinus pseudostrobus es una de las especies más utilizadas en proyectos de reforestación en México (Pérez *et al.*, 2013) y se desarrolla principalmente en las entidades del centro, como Morelos, Puebla, Hidalgo, Estado de México y Distrito Federal, y en los sureños de Oaxaca, Chiapas y Guerrero, mientras que en el norte se encuentra en Coahuila y Nuevo León (Eguiluz, 1982).

***Pinus teocote* Schl**

Es un árbol que llega a medir hasta 30 m de altura y 75 cm a 1 m de diámetro. Tiene tres acículas por fascículo, copa cónica, Semilla ovoide, de color café oscuro, de 2 a 6 mm de longitud, con ala articulada, de 4 a 19 mm de longitud (Rentería *et al.*, 1997). Se desarrolla en altitudes de los 800 a 3100 msnm en un rango de precipitación de 600 a 1000 mm y temperaturas de 10 a 20 °C (Rzedowski, 1978). El suelo donde se encuentra este árbol tiene de moderada a regular materia orgánica, es pobre y pedregoso con fuertes afloramientos rocosos. Se asocia a *Quercus sideroxyla* Humb & Bonpl, *Q. hartwegii*, *Q. rugosa* Neé, *Q. durifolia*, *Q. eduardii* Trel., *Q. urbanii* Trel., *Q. depressipes* Trel., *Pinus engelmannii* Carr., *P. durangensis* Martínez, *P. leiophylla* Schl & Cham, *P. lumholtzii* Robins & Ferns, *P. ayacahuite* var. *brachyptera* Ehren, *P. arizonica*, *Arctostaphylos pungens*, *Juniperus deppeana* Steud, *J. durangensis* Martínez, *Arbutus arizonica* (A Gray) Sarg., *A. xalapensis* Kunth, *A. tessellata* P.D. Sorensen, *A. madrensis* S. gonzález y *Nolina durangensis* Trel. (Renteria *et al.*, 1997).

Distribución: Chiapas, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla,

San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Rzedowski, 1978; Rentería *et al.*, 1997).

Para *Pinus teocote* se ha realizado una gran variedad de estudios entre los cuales se encuentra el realizado por Hernández-Ramos *et al.* (2014) quienes estimaron el índice de sitio para bosques naturales de *P. teocote* en el estado de Hidalgo, obteniendo 5 niveles de calidad de estación con los siguientes valores 27, 23, 19, 15 y 11 m a una edad de 50 años. Otro más es el elaborado por López *et al.* (2017) enfocándose en el impacto que tienen los descortezadores en el incremento radial de *P. teocote* y *Pseudotsuga menziesii* Mirb. encontrando que el incremento radial acumulado en *P. teocote* fue mayor en árboles infestados que en los árboles sanos, sucediendo lo contrario en *Pseudotsuga menziesii* donde los sanos incrementan más que los infestados.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en México, éste se sitúa entre los paralelos 14° 30' y 32° 42' (Bermejo y Pontones, 2000) y longitudes oeste de Greenwich de 118° 22' 00'' y 86° 42' 36''. Los climas presentes son de tipo *A Af*, *Am* y *Aw* calientes húmedos, *C Cf*, *Cw* y *Cs* templados húmedos, *B Bw* y *Bs* secos y *E ET* y *EF* fríos. El rango de precipitación se encuentra entre 50 a más de 3200 mm (García, 1986). Son 10 los tipos de vegetación el Bosque tropical perennifolio, Bosque tropical subcaducifolio, Bosque tropical caducifolio, Bosque espinoso, Matorral xerófilo, Pastizal, Bosque de *Quercus*, Bosque de coníferas, Bosque mesófilo de montaña y Vegetación acuática y subacuática (Rzedowski, 1978).

3.2 Especies estudiadas y sus registros

El género *Pinus* tiene una amplia distribución altitudinal, encontrándose desde los 120 a 4000 msnm, e incluso más (Eguiluz, 1982). Las especies de estudio y sus registros (N) fueron: *Pinus arizonica* Engelm (N = 541), *Pinus pseudostrobus* Lindl (N = 473) y *Pinus teocote* Schltdl (N = 830) las cuales se encuentran en un rango altitudinal de 800 a 3200 msnm, respondiendo a una precipitación de 600 a 1,000 mm anuales y una temperatura media anual de 10 a 20 °C (Rzedowski, 1978) y tres plagas forestales: descortezador (N = 245), barrenador (N = 315) y defoliador (N = 550).

3.3 Variables bioclimáticas

Para modelar la distribución de *Pinus* y plagas se obtuvieron las variables bioclimáticas derivadas de temperatura y precipitación, las variables a futuro 2050 (2041

– 2060) y 2070 (2061 – 2080) se descargaron de acuerdo al modelo MIROC5 (Hijmans *et al.*, 2005) de carácter continuo en formato raster con resolución de un km², las cuales se obtuvieron de la página oficial de WorldClim <http://www.worldclim.org/version1>. Los registros de presencia de las especies tanto de *Pinus* como de plagas forestales se obtuvieron de la base de datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS, 2009-2014), proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Cuadro 1. Variables ambientales Bioclim usadas para generar los modelos de distribución potencial actual y futura de tres especies de Pino y plagas a nivel nacional mediante el algoritmo MaxEnt.

Variables ambientales	Nomenclatura de las variables
Bio1	Temperatura media anual °C
Bio2	Intervalo medio diurno Media mensual [T máx-T. Min] °C
Bio3	Isotermalidad Bio2/Bio7 *100 °C
Bio4	Temperatura estacional Desviación estándar °C
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido °C
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío °C
Bio7	Intervalo de temperatura anual Bio5-Bio6 °C
Bio8	Temperatura media de 1/4 anual más húmedo °C
Bio9	Temperatura media de 1/4 anual más seco °C
Bio10	Temperatura media de 1/4 anual más cálido °C
Bio11	Temperatura media de 1/4 anual más frío °C
Bio12	Precipitación anual (mm)
Bio13	Precipitación del mes más húmedo (mm)

Bio14	Precipitación del mes más seco (mm)
Bio15	Temperatura estacional Coeficiente de variación (mm)
Bio16	Precipitación de 1/4 anual más húmedo (mm)
Bio17	Precipitación de 1/4 anual más seco (mm)
Bio18	Precipitación de 1/4 anual más cálido (mm)
Bio19	Precipitación de 1/4 anual más frío (mm)

Traducido de WorldClim: Hijmans *et al.*, 2005.

3.4 Modelación y validación de los modelos

Se usó el Algoritmo de MaxEnt versión 3.3.3k Maximum Entropy Species Distribution Modeling (Phillips *et al.*, 2006) considerado como el mejor algoritmo de predicción (Elith *et al.*, 2006; Phillips y Dudik, 2008; Kumar *et al.*, 2009), importando los registros de presencia y 19 cubiertas ambientales, indicando al programa hacer la prueba de Jackknife, dando una salida logística especificando tome 70 % de los registros para entrenamiento y el resto para prueba de validación (Zutta *et al.*, 2012; Prieto-Torres *et al.*, 2015), además de 500 interacciones (Cruz-Cardenas *et al.*, 2012). La calidad del modelo de distribución depende en gran medida del número de registros (Stockwell y Peterson, 2002), sin embargo se definió de acuerdo a los valores de la curva AUC (Aguirre y Duivenvoorden, 2010; García *et al.*, 2013) y la prueba de Jackknife que proporcionan el grado de influencia que cada variable aporta al modelo (Hijmans *et al.*, 2005; Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez, 2014).

3.5 Cálculo de superficies de pino libre de plagas

En la plataforma ArcGis 10.4.1 se reclasificaron las cubiertas de distribución potencial actual (probabilidad total) y futuros (umbral de probabilidad ≥ 0.5) a valores booleanos (0,1) (Peterson *et al.*, 2011) de pinos y plagas obtenidas al haber usado 19 variables ambientales previamente elaboradas por Hijmans *et al.* (2005) y los registros de presencia tanto de especies de pino como de plagas forestales empleando también el Software MaxEnt, posterior a ello se realizó una resta de superposición geográfica entre la cubierta de cada especie de pino y las plagas. Como producto final de ésta se obtuvo solo el área considerada como libre de plagas forestales. Este proceso se hizo para cada escenario y periodo estudiado. También se obtuvo el perfil bioclimático actual y futuro por especie de pino y plaga, además de superficies y número de registros por estado, también número de registros por rango de probabilidad de distribución potencial actual.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de los modelos mediante AUC.

Cuadro 2. Valores de área bajo la curva de los modelos de distribución potencial generados por MaxEnt a nivel nacional, México.

Parámetros	<i>P.</i>	<i>P.</i>	<i>P.</i>	Desc.	Barr.	Defo.
	<i>arizonica</i>	<i>pseudostrobus</i>	<i>teocote</i>			
AUC/Entrenamiento	0.971	0.954	0.947	0.943	0.942	0.942
AUC/Validación	0.969	0.947	0.942	0.912	0.923	0.934

AUC = Área Bajo la Curva operada por el Receptor. Des. = descortezador, Barr. = Barrenador, Defo. = defoliador.

Cuanto más cercano a 1 sea el valor de predicción de las AUC, hay una mayor precisión del modelo (Phillips y Dudik, 2008; García, 2008), por lo tanto los valores de las AUC (Cuadro 2) en este estudio fueron de alta precisión de acuerdo a Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez (2014) encontrándose en un rango de 0.94 a 0.97 tanto para especies de pino como para las de plaga, siendo el modelo de *Pinus arizonica* el que presentó un mejor ajuste AUC = 0.971. De acuerdo a los valores de AUC la modelación fue mejor para las especies de pino, ya que tuvieron un mayor AUC que las plagas, al ser más cercanos a 1.

Ávila et al. (2014) reportaron que obtuvieron valores de AUC de 0.973 para entrenamiento y 0.971 para validación para *Pinus herrerae* Martínez en el estado de Jalisco. Cruz-Cárdenas et al. (2016) obtuvieron un AUC de 0.997 para *P. pseudostrobus* en Michoacán superando los valores AUC de este estudio, y para *P. teocote* un AUC de

0.671 que está muy por debajo del obtenido en la especie estudiada. El 30 % de los AUC obtenidos por Aguirre y Duivenvorden (2010) superan un valor de 0.976, pero para *P. arizonica*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote* (AUC = 0.96, 0.92 y 0.857) y para el resto de los pinos los AUC son menores reflejando mejoras en este estudio (Cuadro 2).

Martínez-Méndez et al. (2016) hacen referencia a que los modelos con AUC mayores a 0.9 se consideran como excelentes, al igual que Yu et al. (2014) donde dicen que AUC mayores a 0.95 son excelentes y los AUC < 0.9 como buenos, superando este estudio dichos valores en AUC para todas sus especies de pino y plagas estudiadas.

Los estudios antes mencionados han sido realizados a nivel local o estatal, a diferencia de éste estudio donde el número de registros por especie fue mayor, sin embargo Stockwell y Peterson (2002) mencionan que la calidad del modelo para cualquier especie depende de la cantidad y calidad de los datos, obteniendo la mayor precisión cuando se usan entre 50 y 100 datos, ya que cuando el número de datos aumenta la exactitud del modelo disminuye, en contraparte Ramos-Dorantes (2017) han usado cinco registros en especies como *Abies hickelii* Flous & Gaussen, *P. douglasiana* Martínez, *P. greggii* Engelm y *P. oocarpa* Schiede, y Cruz-Cárdenas (2012) hasta un registro de presencia por especie de la familia Lauraceae, Asteraceae, rosaceae y crassulaceae entre otras. En cuanto a la distribución potencial de las plagas no se encontraron estudios.

4.2 Porcentaje de contribución de las variables climáticas que determinaron la distribución potencial de las especies de pino y plagas

Cuadro 3. Contribución por variable climática para generar el modelo de distribución potencial por especie y plaga en México mediante MaxEnt.

Variable	Contribución (%)					
	<i>P. arizonica</i>	<i>P. pseudostrobus</i>	<i>P. teocote</i>	Desc.	Barr.	Defo.
Bio1	3.7	2.0	0.6	1.5	0.1	0.1
Bio2	0.1	1.8	0.9	4.6	0.2	0.7
Bio3	0.3	0.3	0.2	1.3	0.1	1.3
Bio4	7.0	20.4	2.0	4.7	6.1	37.6
Bio5	3.1	1.4	3.9	3.1	4.2	2.2
Bio6	29.2	0.6	1.1	0.7	34.5	0.5
Bio7	1.4	0.9	0.0	0.7	0.2	1.6
Bio8	0.1	3.7	1.4	0.9	1.5	5.3
Bio9	1.2	2.3	0.6	2.0	1.9	0.8
Bio10	34	50.7	64.7	50.5	35.7	27.9
Bio11	4.5	0.4	1.6	3.7	2.9	0.1
Bio12	0.1	12.3	0.5	0.2	0.2	11
Bio13	0.3	0.6	1.4	17	10.3	0.8
Bio14	0.1	0.0	0.7	4.1	0.0	0.2
Bio15	0.1	0.7	0.1	0.6	0.5	3.9

Bio16	0.0	0.2	14.8	0.7	0.2	3.8
Bio17	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3
Bio18	7.8	0.3	4.1	0.7	0.3	0.8
Bio19	6.9	1.3	1.3	3.0	0.8	1.2

Cuadro 4. Tres principales variables bioclimáticas (Bioclim) que contribuyeron a definir la distribución potencial de los pinos y plagas estudiadas.

Contribución de tres principales variables bioclimáticas (%)					
<i>P. arizonica</i>	<i>P. pseudostrobus</i>	<i>P. teocote</i>	Desc.	Barr.	Defo.
Bio10 = 34.0	Bio10 = 50.7	Bio10 = 64.7	Bio10 = 50.5	Bio10 = 35.7	Bio4 = 37.6
Bio6 = 29.2	Bio4 = 20.4	Bio16 = 14.8	Bio13 = 17.0	Bio6 = 34.5	Bio10 = 27.6
Bio18 = 7.8	Bio12 = 12.3	Bio18 = 4.1	Bio4 = 4.7	Bio13 = 10.3	Bio12 = 11.0

Donde: Bio = variable bioclimática obtenida de WorldClim.

La contribución de cada una de las variables climáticas en la distribución potencial de las especies es muy variable, cada especie tiene sus propios rangos de tolerancia definido por factores ambientales y climáticos, sin embargo la variable que más contribuye a modelar tanto para las especies de pino y plagas es la Bio10 (Temperatura media de 1/4 anual más cálido °C) a excepción del defoliador, siendo la Bio4 (Isotermalidad $Bio2/Bio7 * 100$ °C) la de mayor contribución para esta plaga. La Bio6 (Temperatura mínima del mes más frío °C) es de importancia para *P. arizonica* (29.2 %) y barrenador (34.5 %), la Bio4 para *P. pseudostrobus* (20.4 %) y descortezador (4.7 %) y defoliador (37.6 %), la Bio18 (Precipitación de 1/4 anual más cálido (mm))

influye en *P. ari.* (7.8 %) y *P. teocote* (4.1 %) como la tercera variable más importante, mismo caso para la Bio12 (Precipitación anual (mm)) en *P. pseudostrobus* y defoliador. En cuanto a la variable que menos significancia tiene es la Bio17, que corresponde a la precipitación del trimestre anual más seco, presentando valores de 0 a 0.4 % (Cuadro 3).

Amanera general las variables bioclimáticas que determinan la distribución potencial de las especies de pino son las Bio10, Bio6, Bio4, Bio16, Bio18 y Bio12, y las que más contribuyen para plagas son Bio10, Bio4, Bio6, Bio12, y Bio13 (Cuadro 4).

Kumar y Stohlgren (2009) al evaluar el modelo de distribución potencial para *Canacomyrca monícola* Guillaumin mediante la prueba de Jackknife obtuvieron que la variable climática que más contribuye a su distribución fue la Bio4 con 25.8 %, seguida de Bio15 con 51.2 %, lo cual indica que la importancia de cada variable no se define por el porcentaje de aportación, si no por el rol que juega en el hábitat de la especie. En el presente estudio las variables más importantes acorde a la prueba de Jackknife fueron Bio5 y Bio1 para especies de pino y Bio10 y Bio4 para plagas, sin embargo la que más aportó fue la Bio10 desde 34 hasta 64.7 % (Cuadro 3). Téllez et al. (2004) coinciden con este estudio al definir la Bio1 como la más importante para definir la distribución potencial de *P. arizonica*, *P. devoniana*, *P. durangensis* y *P. pseudostrobus*.

Por otra parte Ávila et al. (2014) quienes determinan las variables más importantes mediante la prueba de Jackknife encontraron que la temperatura máxima, suelo cambisol húmico y altitud determinan la distribución de *P. herrerae* Martínez en el estado de Jalisco. Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez (2014) asumen que las variables más importantes para determinar la distribución potencial de *Atriplex semibaccata*, *Brassica tournefortii*, *Bromus Rubens*, *Centaurea melitensis*, *Cynodon dactylon*, *Salsola*

tragus, *Schismus barbatus* y *Tamarix ramosissima* en el estado de Baja California son las Bio1, 2, 4, 17 y 18.

En contraparte, Cruz-Cárdenas (2016) hicieron un estudio en Michoacán sobre la distribución potencial de 12 especies entre las cuales se enlista a *P. pseudostrobis* y *P. teocote*, definieron la Bio6 como la que más contribuye en la distribución potencial de dichas especies con 92.4 y 92.3 %, mientras que en el presente estudio realizado a nivel nacional los porcentajes de contribución de Bio6 para *P. pseudostrobis* y *P. teocote* fueron solo de 0.6 y 1.1 % (Cuadro 3).

En algunos estudios hacen referencia a las variables más importantes, mas no muestran la contribución de cada variable al modelo de distribución, tal es el caso de Godefroid et al. (2016) con el objetivo de saber si el clima determina la expansión de las poblaciones de *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermuller, determinando que las variables más importantes para ello fueron las Bio2, Bio4, Bio5 y Bio7. Zutta et al. (2012) encontraron que la Bio6 y la Bio12 son las variables que más contribuyen en la distribución de *Polylepis sericea* Wedd y *Polylepis besseri* (Bitter) M. Kessler en los bosques Andinos.

4.3 Perfil bioclimático actual y futuro para *Pinus* y plagas

Cuadro 5. Perfil bioclimático actual y futuro de *Pinus* y plagas respecto a las seis variables climáticas más importantes que definen su distribución potencial en México.

Especie	Proyección	2050		2070	
	Actual	<i>rcp_45</i>	<i>rcp_85</i>	<i>rcp_45</i>	<i>rcp_85</i>
Bio10 (Temperatura media de 1/4 anual más cálido °C)					
<i>P. arizonica</i>	13.2-26.4	14.9-29.2	15.2-29.9	15.3-29.7	16.2-30.8
<i>P. pseudostrobus</i>	8.2-25.5	10.2-27.3	10.7-27.9	10.8-27.7	11.9-29.1
<i>P. teocote</i>	9.7-26.5	11.7-29.3	12.2-29.8	12.3-29.8	13.2-31.1
Desc.	8.2-26.3	10.3-28.0	10.8-28.4	10.7-28.3	11.9-29.3
Barr.	10.9-27.3	12.9-29.4	13.3-29.9	13.4-29.8	14.3-31.0
Defo.	10.6-27.0	12.5-29.0	13.1-29.6	13.1-29.6	14.2-30.9
Bio6 (Temperatura mínima del mes más frío °C)					
<i>P. arizonica</i>	-6.9-7.8	-5.2-9.3	-5.0-9.7	-5.3-9.6	-4.2-10.6
<i>P. pseudostrobus</i>	-3.8-15.9	-2.0-17.4	-1.7-17.7	2.1-17.6	-1.0-18.5
<i>P. teocote</i>	-6.1-14.9	-4.4-16.4	-4.1-16.7	-4.5-16.7	-3.4-17.6
Desc.	-5.6-15.8	-3.8-17.3	-3.5-17.6	-3.9-17.5	-2.8-18.4
Barr.	-6.4-16.2	-4.7-17.7	-4.4-18.0	-4.8-18.1	-3.7-18.8
Defo.	-5.5-17.3	-3.8-18.8	-3.5-19.1	-3.9-19.0	-2.8-19.9
Bio4 (Temperatura estacional (Desviación estándar) °C)					
<i>P. arizonica</i>	17.9-62.8	18.4-64.2	18.8-66.0	18.3-66.3	19.0-67.0
<i>P. pseudostrobus</i>	5.1-48.7	5.5-50.1	5.9-51.6	6.2-51.3	6.8-51.7

<i>P. teocote</i>	4.3-63.0	4.8-64.6	5.3-66.3	5.5-66.6	6.2-67.3
Desc.	5.1-63.1	5.6-63.5	6.2-64.9	6.4-65.2	7.1-65.7
Barr.	5.8-63.1	6.2-64.7	6.6-66.6	6.6-66.7	7.4-67.7
Defo.	4.3-60.9	4.8-62.3	5.3-64.2	5.5-64.5	6.2-65.2
Bio12 (Precipitación anual mm)					
<i>P. arizonica</i>	286-1426	287-1401	267-1386	294-1373	279-1322
<i>P. pseudostrobus</i>	482-3546	471-3284	465-3418	458-3423	477-3289
<i>P. teocote</i>	400-2470	388-2387	354-2443	366-2463	323-2305
Desc.	323-2719	301-2665	271-2762	243-2726	230-2754
Barr.	374-2575	370-2665	344-2762	353-2726	314-2754
Defo.	400-2470	388-2387	354-2443	366-2463	323-2305
Bio13 (Precipitación del mes más húmedo mm)					
<i>P. arizonica</i>	60-326	64-329	54-324	32-328	58-316
<i>P. pseudostrobus</i>	79-721	87-645	89-626	106-698	102-695
<i>P. teocote</i>	86-469	94-575	96-528	102-601	81-588
Desc.	55-536	54-620	38-588	39-636	37-642
Barr.	68-524	77-620	81-588	91-617	76-642
Defo.	79-721	87-645	89-626	106-698	90-695
Bio18 (Precipitación de 1/4 anual más cálido mm)					
<i>P. arizonica</i>	112-766	125-754	117-763	136-756	135-769
<i>P. pseudostrobus</i>	83-802	76-804	91-741	99-719	93-726
<i>P. teocote</i>	75-747	81-741	81-741	87-773	88-721
Desc.	74-885	96-949	76-902	67-922	74-860

Barr.	93-855	100-880	100-870	108-855	102-798
Defo.	75-940	76-947	74-870	67-855	76-882

Donde: Bio = variable bioclimática obtenida de WorldClim. Desc. = descortezador, Barr. = barrenador, Defo. = defoliador.

De acuerdo a la predicción del perfil bioclimático que determinan la distribución potencial de las especies estudiadas (Cuadro 4), en base a la Bio10 se observan incrementos promedio de temperaturas del periodo actual al 2070_rcp85 de 3.7 °C, la Bio4 con un aumento de 2.8 °C. En cuanto a Bio13, el rango en el que se distribuyen tanto pinos como plagas en el escenario actual es 55 hasta 721 mm y para el escenario 2070_rcp85 será desde los 37 a 695 mm. El rango de precipitación anual (mm) se mantendrá para especies de pino, mientras que para descortezador y barrenador éste aumentará en sus límites inferior y superior, considerando lo anterior desde la proyección actual hasta el periodo 2070_rcp85. Analizando la Bio12 se observó que el rango de precipitación anual de *P. arizonica*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote* y descortezador se verá afectada reduciendo 117, 242, 93 y 28 mm en 2070_rcp85, mientras que para barrenador se ampliará el rango de precipitación 239 mm respecto al periodo actual (Cuadro 5).

Téllez et al. (2004) en un estudio que realizaron a nivel nacional sobre la distribución potencial de cuatro especies de pino, encontraron que el perfil bioclimático actual para *P. arizonica* de acuerdo a la Bio10 es de 12.8 a 25.2, Bio4 de 0.81 a 2.27, Bio6 de -5.9 a 4.4 °C y Bio13 de 13 a 74 mm. Para *P. pseudostrobus* la Bio10 de 7.1 a 25.4, Bio4 de 0.25 a 1.84, Bio6 4.1 a 13.9 °C y Bio13 de 19 a 105 mm, mientras que en este estudio para *P. arizonica* la Bio10 va de 13.2 a 26.4, Bio6 de 13.2 a 26.4, Bio4 de

17.9 a 62.8 °C y Bio13 de 60 a 326 mm. Para *P. pseudostrobus* la Bio4 presenta un rango de 5.1 a 48.7 °C y Bio13 con 79 a 721 mm.

Las cinco especies estudiadas por Gutiérrez y Trejo (2014) se encuentran actualmente en un intervalo de temperatura media anual (Bio1) que va de 9.9 a 16.6 °C, *Abies hickelli* y *Quercus ocoteifolia* se distribuyen en un rango de precipitación anual (Bio12) de 1,332 a 1,792 mm y *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite* y *Q. laurina* se distribuyen sobre los 650 a 1290 mm, haciendo mención que las probabilidades de establecimiento son por debajo de 0.60. En este estudio tanto especies de pino como de plagas se distribuyen en un rango de precipitación que va desde 286 mm (*P. arizonica*), descortezador 323 mm, hasta 3,550 mm (*P. pseudostrobus*), por lo cual es posible encontrar a *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite* y *Q. laurina* en el mismo hábitat que las especies antes mencionadas en este estudio. Cabe mencionar que no existen estudios que hayan obtenido el perfil bioclimático de alguna especie proyectada a periodos y escenarios futuros.

4.4 Distribución potencial actual y futura de especies de pino y plagas

Cuadro 6. Superficie de la distribución potencial actual y futura de pino y plagas y áreas potenciales de pino (superficie estimada a un umbral de probabilidad ≥ 0.5) libres de plaga en el territorio Mexicano.

Especie	Superficie (km ²) clasificada por proyección y escenario				
	Actual	2050_rcp45	2050_rcp85	2070_rcp45	2070_rcp85
<i>P. arizonica</i>	104,822.8	55,490.4	42,610.8	39,805.6	24,014.0
Desc.	430,290.7	255,506.4	232,037.7	238,180.8	156,245.9

Barr.	456,857.0	253,418.2	219,755.8	218,053.6	144,943.7
Defo.	443,230.3	289,261.8	254,856.8	261,754.7	208,166.8
<i>P. ariz- Desc.</i>	1,677.6	3,135.3	2,402.2	745.8	319.0
<i>P. ariz- Barr.</i>	1,274.7	2,101.0	1,323.9	253.4	219.1
<i>P. ariz- Defo.</i>	17,926.1	4,753.8	2,701.2	947.8	357.9
<i>P. ariz_ L3P</i>	952.0	1,015.6	1,070.7	161.1	197.7
<i>P. pseudostrobus</i>	311,637.6	205,198.9	182,850.2	205,198.9	182,850.2
<i>P. pseud- Desc.</i>	21,648.6	11,868.2	8,094.1	8,847.0	7,384.3
<i>P. pseud- Barr.</i>	51,793.2	11,868.2	8,094.1	8,847.0	7,384.3
<i>P. pseud- Defo.</i>	24,758.2	9,230.9	7,058.2	7,560.4	4,149.9
<i>P. pseud_ L3P</i>	12,076.2	6,123.6	3,909.9	3,936.3	3,146.2
<i>P. teocote</i>	317,683.6	183,139.9	161,736.3	153,161.5	118,770.9
<i>P. teo- Desc.</i>	26,250.4	9,186.5	6,663.3	4,422.7	1,375.3
<i>P. teo- Barr.</i>	21,404.8	19,317.6	15,749.5	14,099.6	6,451.9
<i>P. teo- Defo.</i>	26,439.8	17,795.8	14,700.0	13,123.0	6,017.9
<i>P. teo_ L3P</i>	6,113.7	8,674.9	6,407.1	4,306.8	1,358.5

Donde: L3P = área de pino totalmente libre de las tres plagas forestales; *P. arizonica* – *Desc.* = indica la diferencia que existe entre el área (sobreposición) de la capa de distribución de pino con la plaga.

Cuadro 7. Cambios porcentuales en la superficie de distribución potencial actual y futura de pino y plagas y áreas potenciales de pino (superficie estimada a un umbral de probabilidad ≥ 0.5) libres de plaga en el territorio Mexicano.

Especie	Superficie (km ²) clasificada por proyección y escenario				
	Actual	2050_rcp45	2050_rcp85	2070_rcp45	2070_rcp85
<i>P. arizonica</i>	104,822.80	-47.06	-59.35	-62.03	-77.09
Desc.	430,290.70	-40.62	-46.07	-44.65	-63.69
Barr.	456,857.00	-44.53	-51.90	-52.27	-68.27
Defo.	443,230.30	-34.74	-42.50	-40.94	-53.03
<i>P. ariz- Desc.</i>	1,677.60	86.89	43.19	-55.54	-80.98
<i>P. ariz- Barr.</i>	1,274.70	64.82	3.86	-80.12	-82.81
<i>P. ariz- Defo.</i>	17,926.10	-73.48	-84.93	-94.71	-98.00
<i>P. ariz_L3P</i>	952.00	6.68	12.47	-83.08	-79.23
<i>P. pseudostrobus</i>	311,637.60	-34.15	-41.33	-34.15	-41.33
<i>P. pseud- Desc.</i>	21,648.60	-45.18	-62.61	-59.13	-65.89
<i>P. pseud- Barr.</i>	51,793.20	-77.09	-84.37	-82.92	-85.74
<i>P. pseud- Defo.</i>	24,758.20	-62.72	-71.49	-69.46	-83.24
<i>P. pseud_L3P</i>	12,076.20	-49.29	-67.62	-67.40	-73.95
<i>P. teocote</i>	317,683.60	-42.35	-49.09	-51.79	-62.61
<i>P. teo- Desc.</i>	26,250.40	-65.00	-74.62	-83.15	-94.76
<i>P. teo- Barr.</i>	21,404.80	-9.75	-26.42	-34.13	-69.86
<i>P. teo- Defo.</i>	26,439.80	-32.69	-44.40	-50.37	-77.24
<i>P. teo_L3P</i>	6,113.70	41.89	4.80	-29.55	-77.78

Donde: L3P = área de pino totalmente libre de las tres plagas forestales. *P. arizonica* – *Desc.* = indica la diferencia que existe entre el área (sobreposición) de la capa de distribución de pino con la plaga.

A manera general las áreas de distribución potencial de las especies de pino y plagas sufrirán pérdidas de superficie tomando como base el periodo actual (superficie total) hasta el 2070_rcp85 (superficie estimada a un umbral de probabilidad ≥ 0.5), presentando los siguientes porcentajes de afectación *P. arizonica* (77.1 %), *P. pseudostrabus* (41.3 %), *P. teocote* (62.6 %), descortezador (63.7 %), barrenador (68.3 %) y defoliador (53 %) (Cuadro 7, véase también Figuras 8, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19 y 24, incisos A - E). Sin embargo para el periodo 2070_rcp45 presentarán incremento *P. pseudostrabus* con 10.9 y 2.6 % para descortezador y defoliador con respecto al periodo 2050_rcp85, a excepción de *P. arizonica*, *P. teocote* y barrenador que van en decline continuo. Las superficies de pino libres de cada plaga reflejarán un 82 % menos en el 2070_rcp85, mientras que las áreas de pino libre totalmente de plagas sufrirán pérdidas del 77 % para el mismo periodo (Cuadro 7, Figuras 15, 23 y 28).

En cuanto a las áreas potenciales de pino libre de plaga se presentarán incrementos de superficie significativos en el periodo 2050_rcp45, tal es el caso de *P. arizonica* libre de descortezador (pasando de 1,677.6 a 3,135.3 km²) y *P. arizonica* libre de barrenador (de 1,274.7 a 2,101 km²) que será del 187 y 165 % aproximadamente (Cuadro 6) respecto al actual. También en áreas totalmente libres de plagas para *P. arizonica* con 952 km² y *P. teocote* con 6,113 km² en el escenario actual, hay un incremento del 7 y 41.8 % respectivamente en el periodo 2050_rcp45 (Cuadro 7).

Téllez et al. (2004) predicen un área potencial para *P. arizonica* de 82,036, *P. devoniana* 278,371, *P. durangensis* 185,376 y para *P. pseudostrobus* de 312,842 km², encontrándose diferencia significativa de 22,786.8 km² en la distribución de *P. arizonica* y 1,205 km² en *P. pseudostrobus* con respecto a este estudio. Por otra parte Aguirre y Duivenvoorden (2010) modelaron la distribución potencial actual de 56 especies del género *Pinus*, utilizando 3867 registros que obtuvieron de la base de datos BRAHMS de la Universidad de Oxford, 8 variables bioclimáticas; elevación, pendiente, precipitación, temperatura, tipos de suelo, humedad, regímenes de la humedad del suelo y cobertura de vegetación. Reportaron a nivel nacional tres variedades de *P. arizonica* (var. *arizonica*, var. *cooperi* y var. *stormiae*) con superficies de 163,460, 121,404 y 15,189 km². Donde para fines prácticos se asume que en la mayor superficie se encuentran inmersas las tres variedades, de tal manera que es un 56 % mayor a la obtenida en este estudio, posiblemente por el número de registros usados correspondientes a cada variedad, dato con que no fue facilitado para realizar éste estudio. También reportan tres variedades de *P. pseudostrobus* (var. *protuberans*, *apulcensis* y *pseudostrobus*) con las siguientes superficies 14,529, 199,698 y 315,988 km², comparando la mayor superficie con la obtenida en este estudio es 4,351 km² más grande, en el caso de *P. teocote* el área reportada en este estudio es 4,042 km² menor, atribuyendo que dichas diferencias encontradas se deben posiblemente al uso de diferentes variables (categóricas/continuas) y el número de registros en cada estudio, ya que se modeló el área de distribución potencial a nivel nacional en ambas investigaciones.

Cruz-Cárdenas et al. (2016) en el estado de Michoacán modelaron la distribución potencial de Pinaceas bajo escenarios de cambio climático hacen mención que las superficies de las 12 especies modeladas a escenarios actuales y futuros (rcp45 y rcp85),

entre ellas *P. pseudostrobus* y *P. teocote* disminuirán en un rango del 16 a 40 % para escenarios futuros respecto al actual, razón por las que dichas especies se consideran vulnerables al cambio climático o serán inestables de acuerdo a Godefroid et al. (2016), que comparando los estudios anteriores las especies se confirma que *P. pseudostrobus* y *P. teocote* son vulnerables al cambio climático, ya que también presentan pérdidas de superficie (cuadro 6) y cambios en los rangos del perfil bioclimático propio de cada especie (Cuadro 5) obtenido también en el presente estudio, considerando también a *P. arizonica*, descortezador, barrenador y defoliador como vulnerables aunque las plagas se verán menos afectadas por el cambio climático en cuanto a disminución de superficie (Cuadro 6).

De igual manera Arriaga y Gómez (2007) indican que el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionará mayor variabilidad en la temperatura y precipitación resultando los bosques templados uno de los tipos de vegetación más afectados en México, lo cual implica un cambio en la distribución de las especies en periodos futuros bajo la inferencia de algún escenario de cambio climático. Los autores trabajaron con especies de pino y encinos, entre los cuales se encuentra *P. arizonica*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote* con porcentajes de disminución del 10.85, 0.65 y 9.27 % para el 2050 respecto al actual, esto usando el modelo HADCM2, mientras que en este estudio usando el modelo MIROC5, *P. arizonica*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote* disminuyen a razón de 77.1, 41.3 y 62.6 % al periodo 2070 _rcp85 (Cuadro 7).

Yu et al. (2014) modelaron la distribución potencial de *Tilia amurensis* Rupr, *Chosenia arbutifolia* (Pallas) A. Skvortsov., *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc., *Phellodendron amurense* Rupr, *Fraxinus mandshurica* Rupr, *Pinus sylvestris* Linneo y *Juglans mandshurica* Maxim, reportando un aumento de superficie de 33089.6 km² para

escenarios futuros (2080) respecto a la superficie actual 452,084.9 km² para las siete en el Noreste de China, ocurriendo lo contrario con las especies de este estudio al 2050 y 2070.

De Cauwer et al. (2014) reportaron que la superficie para *Pterocarpus angolensis* de Candolle. disminuirá un 22 % escenario B1 (describe un mundo convergente con poca variación en la población, enfocado a la introducción de energías limpias, dando orden global sostenible, económico, social y medioambiental y su relaciones con el clima) y 51 % escenario A2a (se basa en un mundo heterogéneo con una población mundial en crecimiento, y la fragmentación social, económico y cambio tecnológico) para el año 2080 en el sur de África. Por otra parte Ramírez-Villegas et al. (2014) realizaron un estudio a lo largo de la región de los Andes con 9,457 plantas, usando 478, 301 registros, además de MaxEnt y 10 variables bioclimáticas entre ellas las Bio1, Bio4, Bio5, Bio6, Bio12, Bio15, Bio16 y Bio17, mencionando que más del 50 % de las especies sufrirán pérdidas de más del 45 % e incluso el 10% de ellas podrían desaparecer para el 2050, las pérdidas son similares a este estudio considerando el periodo 2050 ya que se perderá aproximadamente el 50 % del área potencial de distribución en pinos y 47 % en plagas (Cuadro 7).

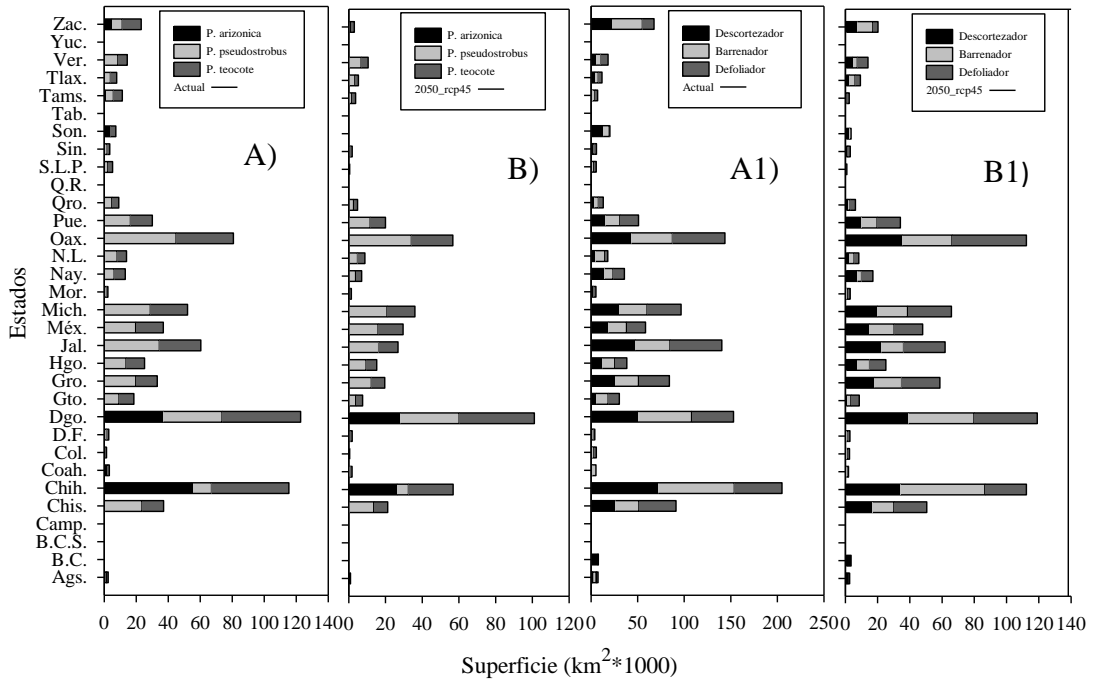


Figura 1. Distribución estatal del área potencial actual y futura (2050_rcp45) de tres especies de *Pinus* y plagas en México.

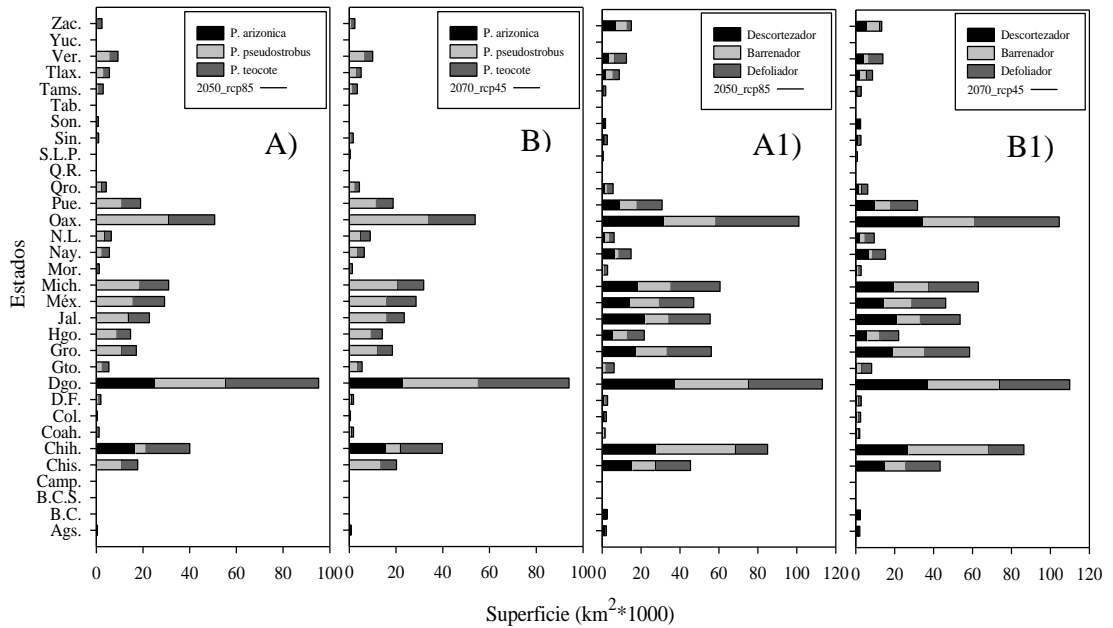


Figura 2. Distribución estatal del área potencial actual y futura (2050_rcp85 y 2070_rcp45) de tres especies de *Pinus* y plagas en México.

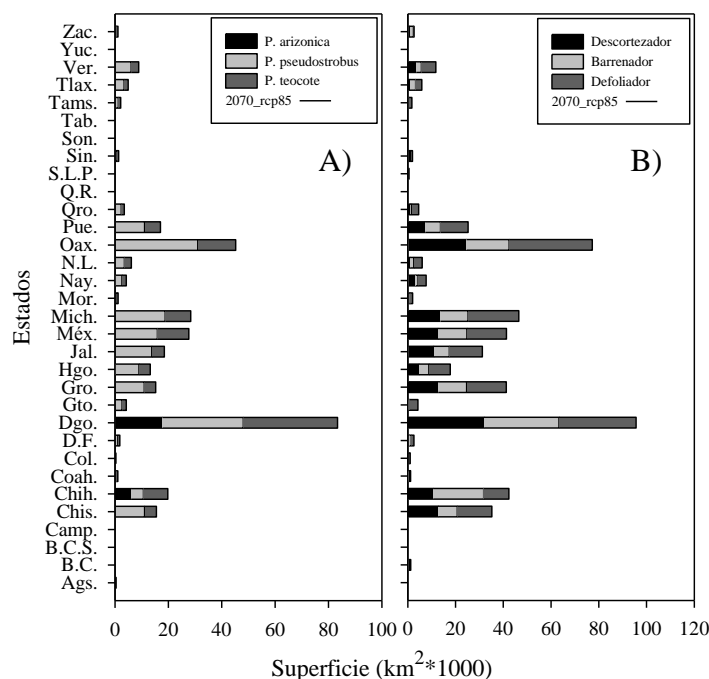


Figura 3. Distribución estatal del área potencial actual y futura (2070_rcp85) de tres especies de *Pinus* y plagas en México.

Las zonas en que se distribuye el área potencial de *P. arizonica* en el escenario actual corresponden a Chihuahua con 55,170.1, Durango 36,944.5 y Zacatecas 4,634.1 km² (Figura 1A y 8A). Para el escenario 2050_rcp45 el orden es Durango (27,980.6), Chihuahua (26,233.2) y Coahuila (447 km²) (Figura 1B y 8B), el orden se mantiene hasta el 2070_rcp85 quedando solo el 63.4, 22.8 y 19.4 % de superficie respecto al 2050_rcp45 (Figura 3A). En el escenario actual para *P. pseudostrobus* Oaxaca, Durango y Jalisco con 44942.1, 36738.3 y 34365.1 km² son los de mayor superficie (Figura 16A), mientras que del escenario 2050_rcp45 al 2070_rcp85 Oaxaca, Durango y Michoacán serán los de mayor área potencial (Figura 1B), Figura 3 A y Figura 16 incisos B) al E). En el caso de *P. teocote* para los escenarios actual y futuros (2050_rcp45, rcp85 y 2070_rcp45, rcp85) Durango se mantendrá como el que albergue la mayor distribución

potencial de dicha especie, ocupando 2^{da} y 3^{era} posición Chihuahua y Oaxaca (Figura 1B), Figura 2A) Y 2B) y Figura 3A), véase también Figura 24 Inciso A) al E). El estado con más potencial para albergar a descortezador será Durango, para barrenador Chihuahua y Durango y para defoliador Oaxaca seguida de Durango y Michoacán del periodo 2050_rcp45 al 2070_rcp85 (Figura 1B1), Figura 2A1) y B1, Figura 3B). En el escenario actual las plagas se encuentran distribuidas en la mayoría de los estados donde se distribuyen las especies de pino, a excepción de Baja California donde defoliador no comparte hábitat con *P. arizonica*, y Baja California Sur encontrándose *P. arizonica*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote* no hay presencia de barrenador (Figura 1A) y A1). Sin embargo para escenarios futuros el estado de Baja California estará ausente barrenador y defoliador, en Baja California sur y Sonora solo defoliador en el 2070_rcp85 (Figura 3B).

Cruz-Cárdenas (2016) hacen mención que las superficies de *P. pseudostrobus* y *P. teocote* disminuirán en un rango del 16 a 40 % para escenarios futuros del 2015 a 2039 y 2075 a 2099 respectivamente en el estado de Michoacán, mientras que en este estudio se obtuvo que la superficie de *P. pseudostrobus* aumentará de 1,759.2 km² periodo actual al 2050_rcp45 con 20,854.27 km², empezando a declinar reduciendo un 90 % para el 2070_rcp85 y para *P. teocote* la reducción es continua y de un 40.1 % (Figura 1A) y B) y Figura 3A).

En el escenario actual los estados que más distribución o superficie potencial de pinos tienen son Chihuahua, Durango y Oaxaca, lo contrario de la distribución potencial de obtenida por Cruz-Cárdenas (2012) donde Chiapas con 30 y Oaxaca 23 % son los estados de mayor representación espacial, siendo 25 de 32 estados con un total de 139,405 km² donde se distribuyen las 78 especies pertenecientes al Bosque Húmedo de

Montaña. Comparando la distribución natural de los pinos por Sánchez-González (2008) con este estudio, difiere para *P. pseudostrobus* y *P. teocote* en los estados de Campeche, Q. Roo y Yucatán y para *P. arizonica* en Querétaro y S. L. P. (Figura 1A), atribuyendo la diferencia de esas regiones sea posiblemente porque en la distribución natural están presentes todos los elementos que definen el rango de distribución de cada especie y en este estudio solo se está tomando en cuenta la influencia de temperatura y precipitación para predecir un hábitat adecuado para las especies.

Salinas-Moreno et al. (2010) mencionan la distribución potencial actual por especie de descortezador (*D. adjunctus* Blandford, *D. approximatus* Dietz, *D. brevicomis* LeConte, *D. mexicanus* Hopkins, *D. valens* LeConte, *D. jeffreyi* Hopkins, *D. parallelcollis* Chapuis, *D. ponderosae* Hopkins, *D. pseudotsugae* Hopkins, *D. barragani*, *D. rhizophagus* Thomas & Bright y *D. vetei* Wood) más no su superficie. Mientras en este estudio se especifica la extensión superficial (km²) a manera general y por estado, más no por especie (Figura 1A1) a Figura 3B).

Ramos-Dorantes et al. (2017) realizaron un estudio usando MaxEnt 3.3.3k ,empleando 58 variables climáticas, 572 registros de presencia para 15 especies de *Abies*, *Pseudotsuga* y *Pinus*, además de una variedad de pinaceae (var. *apulcensis*), reportan para el estado de Puebla una distribución potencial para *P. pseudostrobus* (68 registros) de 16,816.6 km² y para *P. teocote* (52 registros) 8,971.177 km² en Puebla, superada en este estudio con 6,531.2 y 13,631.417 km² también en Puebla (Figura 1A), aclarando que para *P. pseudostrobus* se usaron 473 y para *P. teocote* 830 registros para todo México, además de las 19 Bioclim descargadas de WorldClim, sin embargo al separar por estado el total de registros que se usó por especie, para el estado de Puebla fueron solo 35 para *P. pseudostrobus* y 13 *P. teocote* (Cuadro 9).

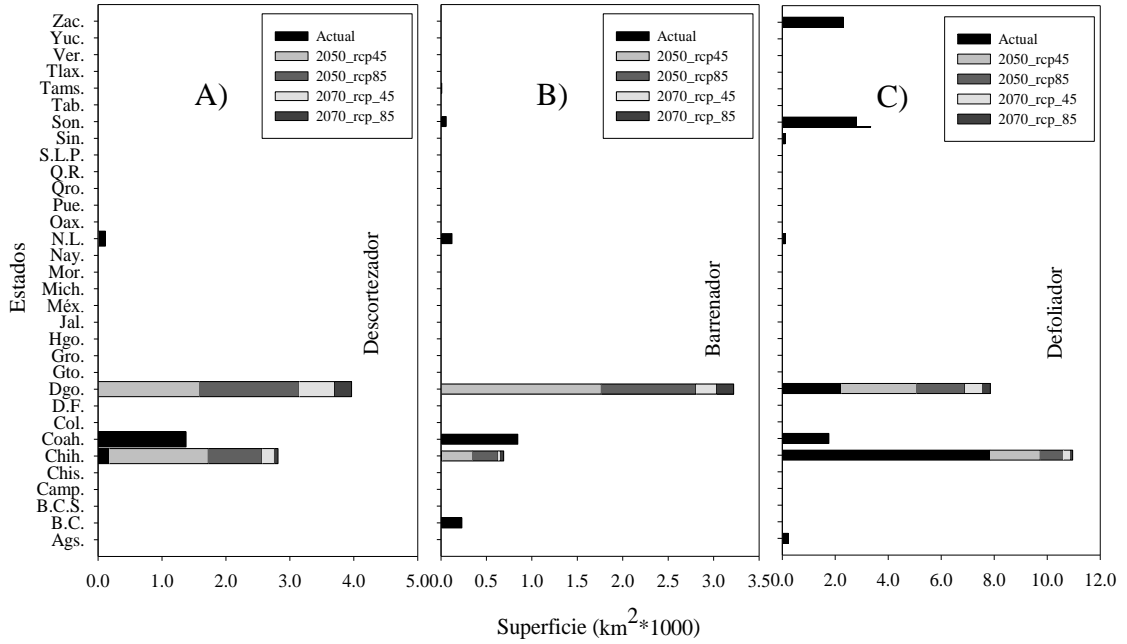


Figura 4. Distribución estatal del área potencial de *Pinus arizonica* libre de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuro en México.

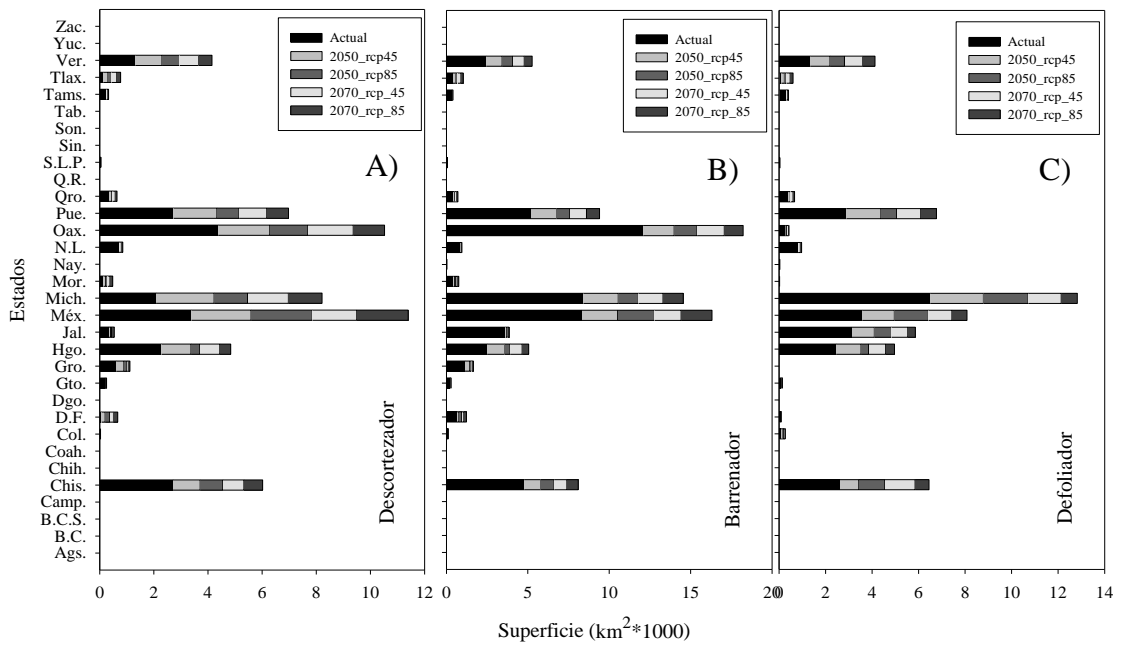


Figura 5. Distribución estatal del área potencial de *Pinus pseudostrobus* libre de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuro en México.

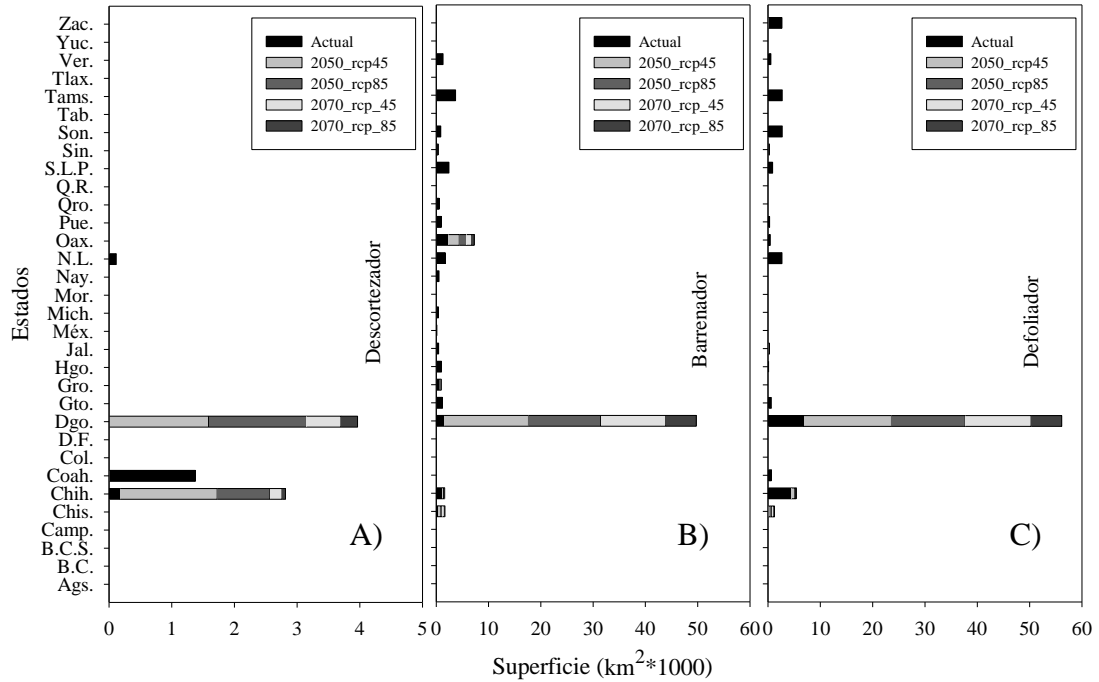


Figura 6. Distribución estatal del área potencial de *Pinus teocote* libre de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuro en México.

El estado de Coahuila en una proyección actual ocupa la primer posición en cuanto a área potencial de *P. arizonica* libre de descortezador ($1,377 \text{ km}^2$) (Figura 4A y 12A) y de *P. arizonica* libre de barrenador (844 km^2) (Figura 4B y 13A), mientras que en escenarios futuros (2050_rcp45 al 2070_rcp85) Durango mantendrá las áreas potenciales con mayor superficie (Figura 4A y 4B).

Por otra parte para las áreas potenciales más grandes de *P. pseudostrobus* libres de descortezador y barrenador, son los estados de México, Oaxaca y Michoacán (Figura 5A y 5B) y Figuras 20 y 21), siendo Michoacán el que ocupa el primer lugar libre de defoliador con superficies de $6,498 \text{ km}^2$ actualmente hasta 693 km^2 para el 2070_rcp85, seguido de México, Puebla y Chiapas (Figura 5C).

Para el caso de *P. teocote* se proyectó tener en Durango 6,893 km² libres de defoliador (Figura 6C), en Guanajuato 4,120 km² libre de descortezador (Figura 6A) y Tamaulipas con 3,686 km² libres de barrenador actualmente (Figura 6 B). Para los escenarios 2050_rcp45 al 2070_rcp85 el estado de Durango es el que tendrá las mayores superficies de *P. teocote* libre de descortezador (pasando de 8,635 a 1,299 km²), barrenador (de 16,138 a 5,820 km²) y defoliador (de 16,724 a 5,850 km²), siguiendo de Chiapas y Oaxaca en áreas libres de descortezador y barrenador (Figuras 6A, 6B y 6C).

Con respecto a este tema no hay estudios relacionados para proyecciones actuales y menos para las futuras. Sin embargo, del-Val y Sáenz-Romero (2017) realizaron un estudio sobre la problemática actual y perspectivas en los bosques templados de descortezadores bajo la influencia del cambio climático, quienes coinciden con este estudio ya que en proyecciones futuras de descortezador (*Dendroctonus ponderosae* y *D. frontalis*) la superficie de sus poblaciones disminuirá más no el número de individuos de cada una, confirmando en este estudio que las áreas potenciales de descortezador y barrenador disminuirán en proyecciones futuras (2050_rcp 45 a 2070_rcp85) (Cuadro 6). En contraparte la Comisión Nacional Forestal (2016) especifica la extensión superficial afectada por muérdago, descortezador, barrenador y defoliador, más no la afectada por estado, o por hospedero-plaga para proyecciones actuales o futuras como en este estudio donde las tres especies de pino son hospederas de las tres plagas especificando áreas libres de plaga para cada hospedero.

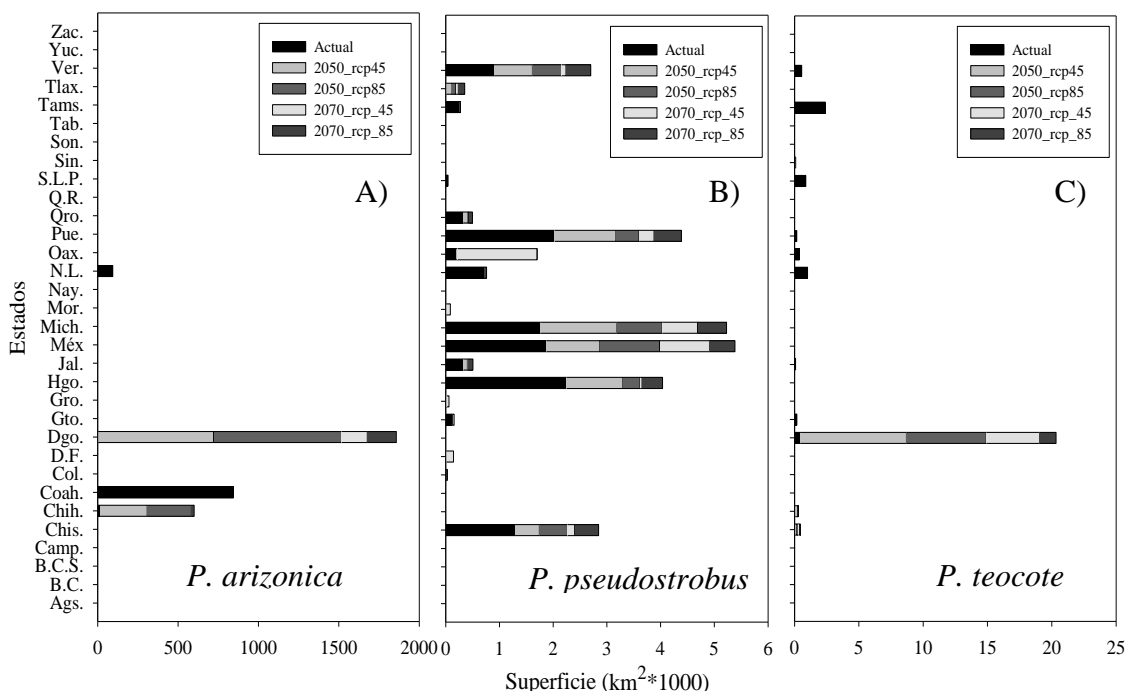


Figura 7. Distribución estatal del área potencial de *Pinus arizonica*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* libre totalmente de descortezador, barrenador y defoliador proyectado a un escenario actual y futuros en México.

De acuerdo al área de distribución potencial actual de especies de pino libres de plaga, los estados que mantendrán la mayor superficie libre totalmente de plagas son *P. arizonica* - Coahuila (844 km^2) (Figura 7A), *P. pseudostrobus* - Hidalgo ($2,248 \text{ km}^2$) (Figura 7 B) y *P. teocote* - Tamaulipas ($2,387 \text{ km}^2$) (Figura 7C). Mientras que los estados con el área potencial de *P. pseudostrobus* libre totalmente de plagas para escenarios futuros es muy variado, entre ellos destacan Michoacán con $1,423 \text{ km}^2$ (2050_rcp45), México $1,112 \text{ km}^2$ (2050_rcp85), Oaxaca $1,477 \text{ km}^2$ (2070_rcp45) y Michoacán con 540 km^2 (2070_rcp85) (Figura 7B). Sin embargo Durango tendrá las áreas potenciales más grandes para el caso de *P. arizonica* ($720.7\text{-}180.4 \text{ km}^2$) y *P. teocote* ($8,265.2\text{-}1,282.7 \text{ km}^2$) considerando del escenario 2050_rcp45 al 2070_rcp85 (Figura 7A y 7C).

Cuadro 8. Número de registros de especie de pino y plaga por nivel de probabilidad de distribución potencial obtenida con MaxEnt.

Probabilidad	Número de registros por probabilidad de distribución potencial					
	<i>P. ariz</i>	<i>P. pse</i>	<i>P. teo</i>	Desc.	Barr.	Defo.
0.0 - 0.1	15	14	34	8	12	19
0.1 - 0.2	20	37	46	14	28	33
0.2 - 0.3	21	38	64	21	46	54
0.3 - 0.4	35	38	97	42	31	54
0.4 - 0.5	89	62	65	34	32	66
0.5 - 0.6	130	65	112	47	39	74
0.6 - 0.7	181	91	188	45	32	88
0.7 - 0.8	50	119	224	25	60	136
0.8 - 0.9	0	9	0	6	35	26
0.9 - 1.0	0	0	0	3	0	0
Total	541	473	830	245	315	550

Donde: *P. ariz* = *Pinus arizonica*, *P. pse* = *Pinus pseudostrobus*, *P. teo* = *Pinus teocote*, Desc = descortezador, Barr = barrenador y Defo = defoliador.

La mayoría de los registros de presencia de las especies se presentaron en los rangos de probabilidad de 0.5 a 0.8, entre ellos, la mayor cantidad de registros es para *P. teocote* con 224 registros en el rango de probabilidad de 0.7 a 0.8. Un dato interesante es que los rangos de probabilidad que menos registros tienen son los de 0.8 a 1.0, donde dichos parámetros son en los que se podría encontrar la especie en abundancia ya que en

estas zonas se encuentra el más adecuado perfil bioclimático y ambiental para cada una de las especies.

Cuadro 9. Número de registros de presencia por especie y plaga en los diferentes estados del territorio Mexicano.

Estados	<i>P. ariz</i>	<i>P. pse</i>	<i>P. teo</i>	Desc.	Barr.	Defo.
Ags.	0	0	0	0	0	1
B.C.	0	0	0	6	0	0
B.C.S.	0	0	0	0	0	0
Camp.	0	0	0	0	0	0
Chis.	0	19	12	18	19	9
Chih.	341	4	118	35	172	35
Coah.	8	1	0	0	5	0
Col.	0	0	0	0	0	1
D.F.	0	1	1	1	2	2
Dgo.	176	16	450	36	6	8
Gto.	0	3	5	4	0	1
Gro.	0	37	27	22	23	104
Hgo.	0	6	4	5	3	7
Jal.	0	13	13	20	8	33
Méx.	0	18	13	6	4	23
Mich.	1	82	25	3	7	12
Mor.	0	4	1	1	0	4

Nay.	0	6	3	7	4	5
N.L.	5	31	14	5	8	5
Oax.	0	158	87	31	26	244
Pue.	0	35	13	14	2	22
Qro.	0	0	1	1	0	0
Q.R.	0	0	0	0	0	0
S.L.P.	1	3	7	2	1	2
Sin.	0	7	4	3	3	3
Son.	4	0	4	3	5	1
Tab.	0	0	0	0	0	0
Tams.	0	11	17	0	0	6
Tlax.	0	3	1	1	1	3
Ver.	0	14	3	5	1	16
Yuc.	0	0	0	0	0	0
Zac.	5	2	10	18	15	5

Donde: *P. ariz* = *Pinus arizonica*, *P. pse* = *Pinus pseudostrobus*, *P. teo* = *Pinus teocote*,

Desc = descortezador, Barr = barrenador y Defo = defoliador.

Los estados que cuentan con un número mayor de registros de presencia de pino son Durango para *P. teocote* (450), Chihuahua en *P. arizonica* (341) y Oaxaca en *P. pseudostrobus* (158) y en plagas Oaxaca para defoliador con 244, seguidos de Durango y Chihuahua para descortezador (36 y 35) y Chihuahua con 172 registros para barrenador.

Cruz-Cárdenas et al. (2012) al igual que en este estudio, también reportan los registros de presencia de especies por estado de al menos un género (Asteraceae). Por otra parte autores como Yu et al. (2014), Gutiérrez y Trejo (2014) entre otros, solo reportan los registros de presencia por especie mas no muestran una ubicación más precisa de los registros, a diferencia de los que realizan estudios en áreas localizadas como Ramos-Dorantes et al. (2017) y Ávila et al. (2009).

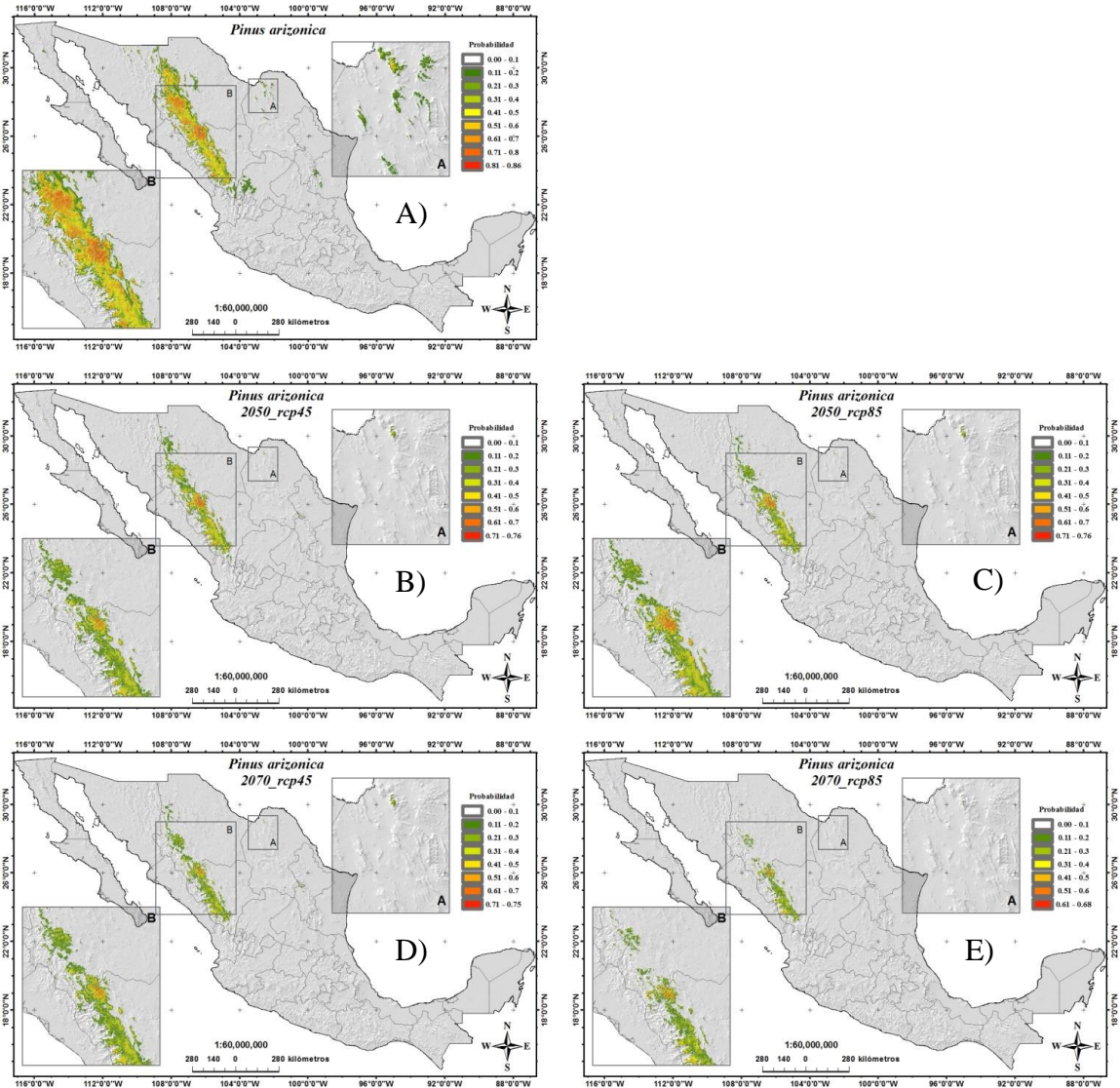


Figura 8. Distribución potencial de *Pinus arizonica* escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

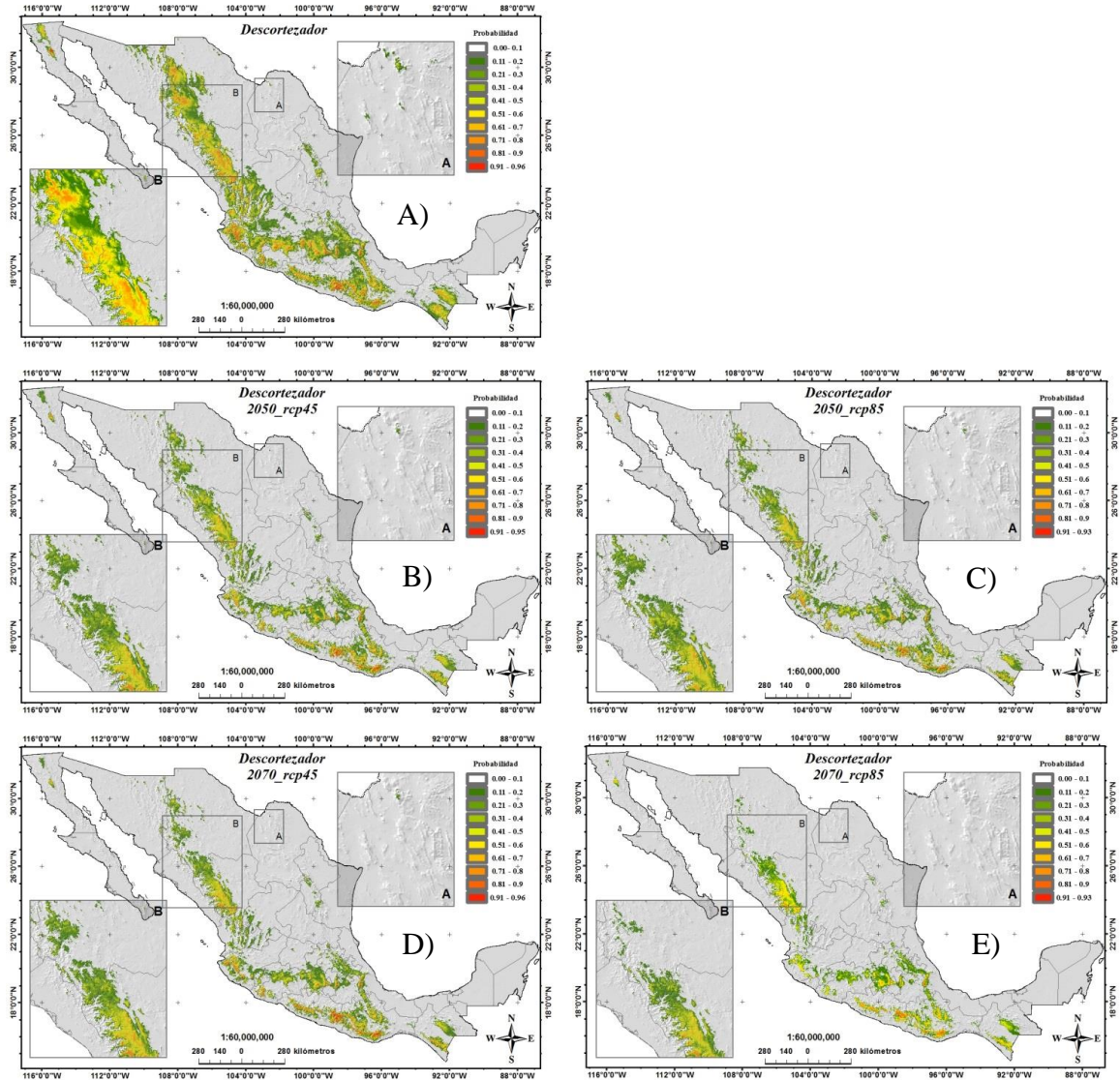


Figura 9. Distribución potencial de descortezador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

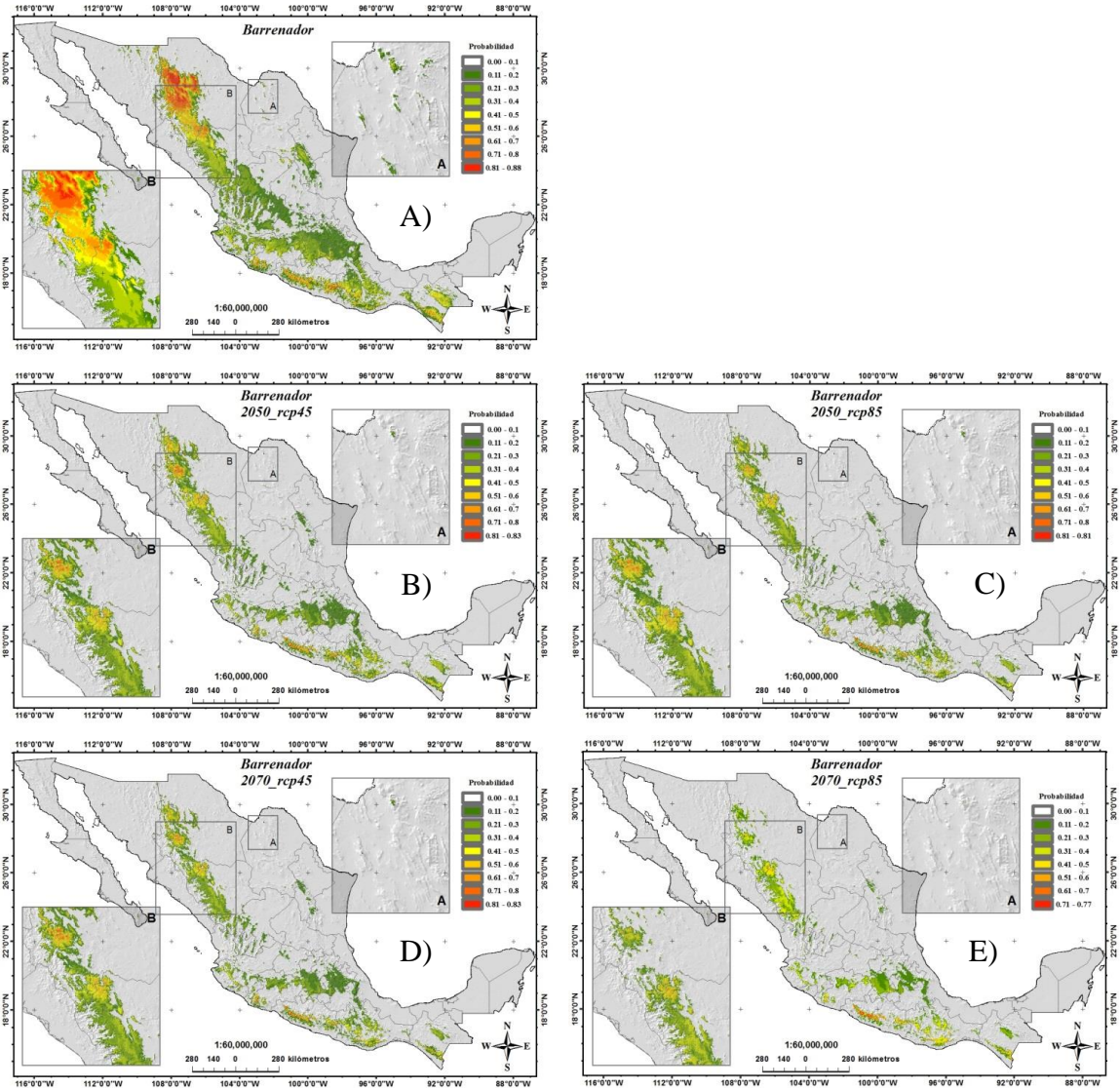


Figura 10. Distribución potencial de barrenador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

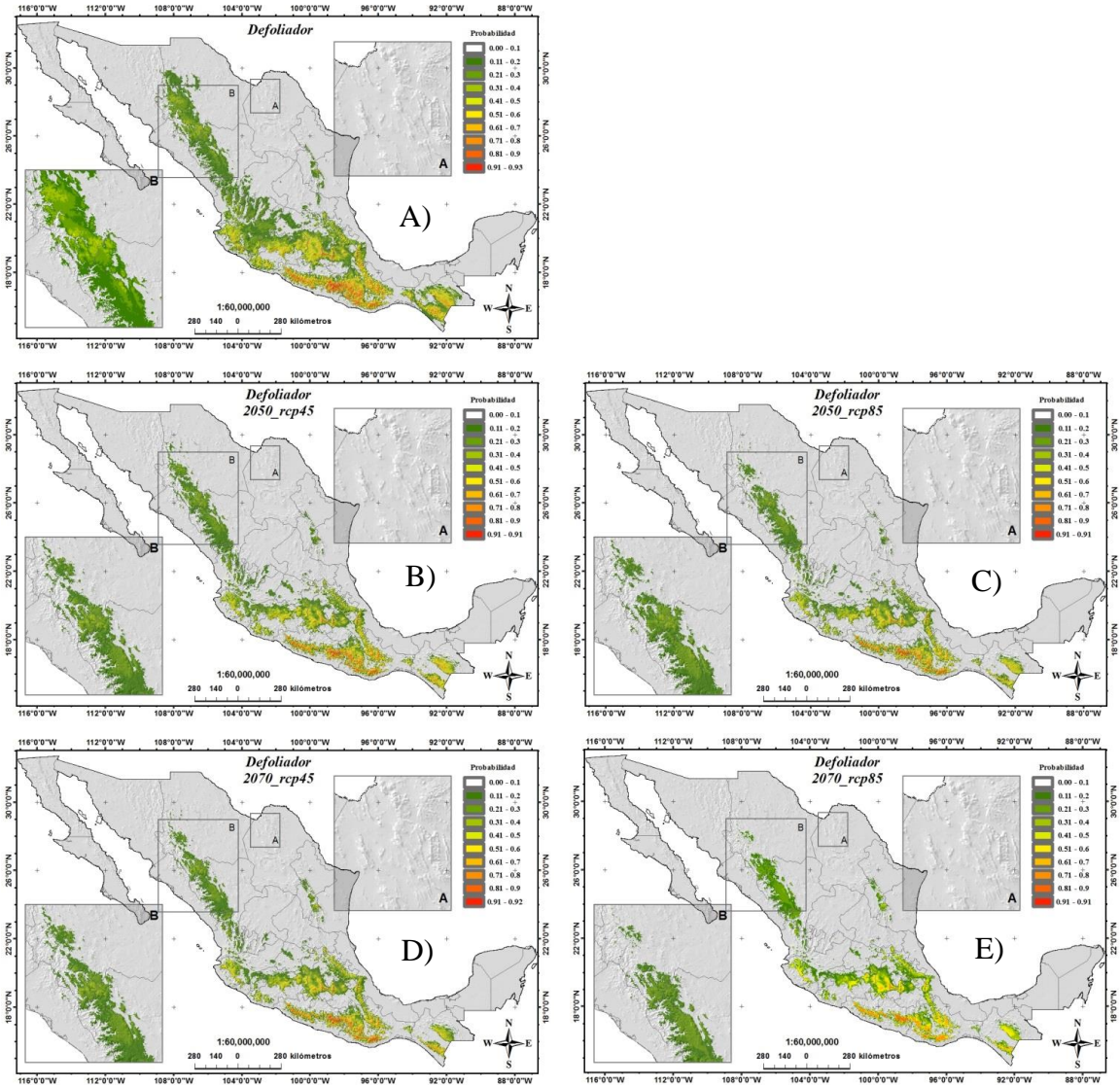


Figura 11. Distribución potencial de defoliador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

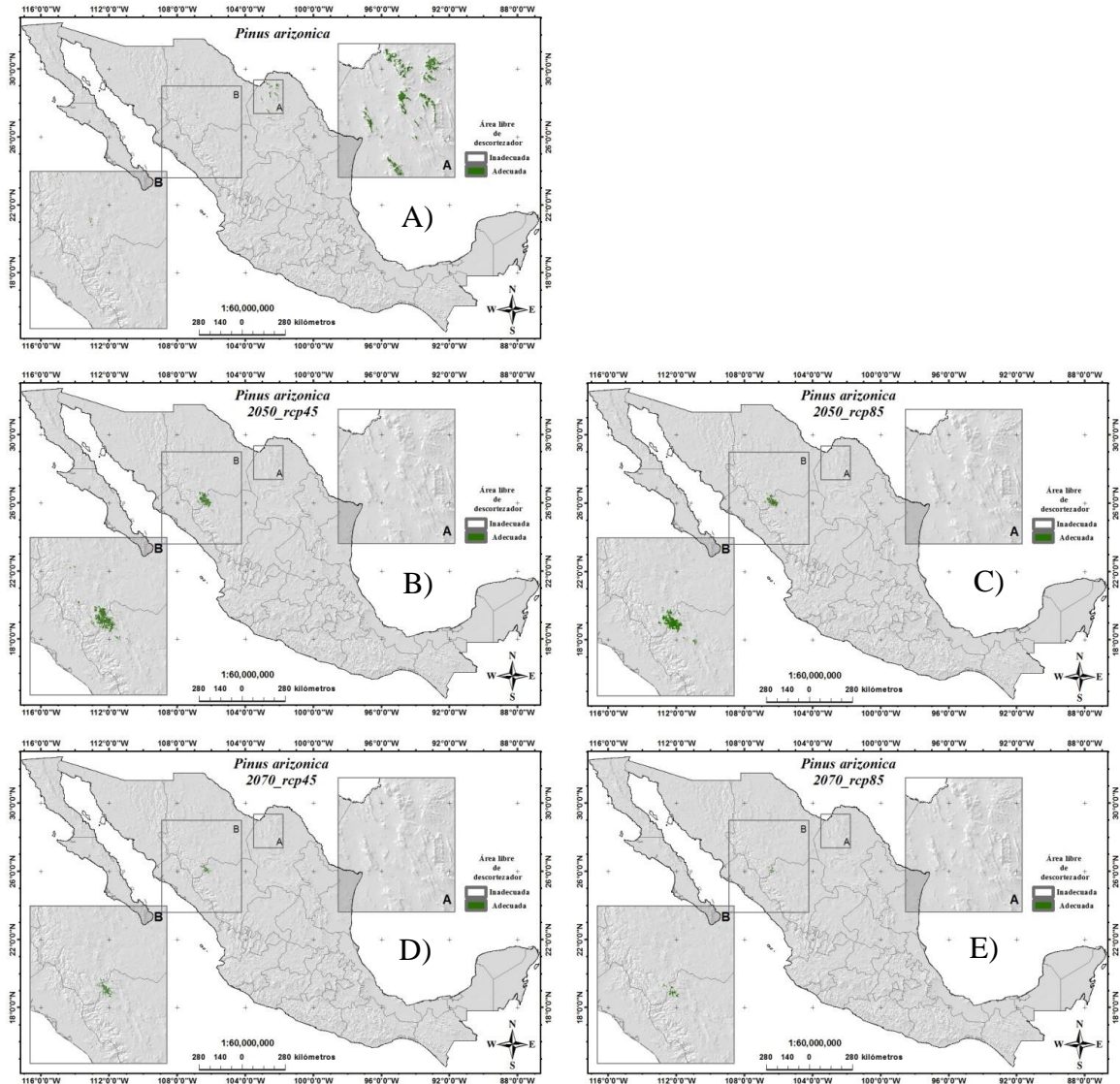


Figura 12. Distribución potencial de *Pinus arizonica* libre de descortezador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

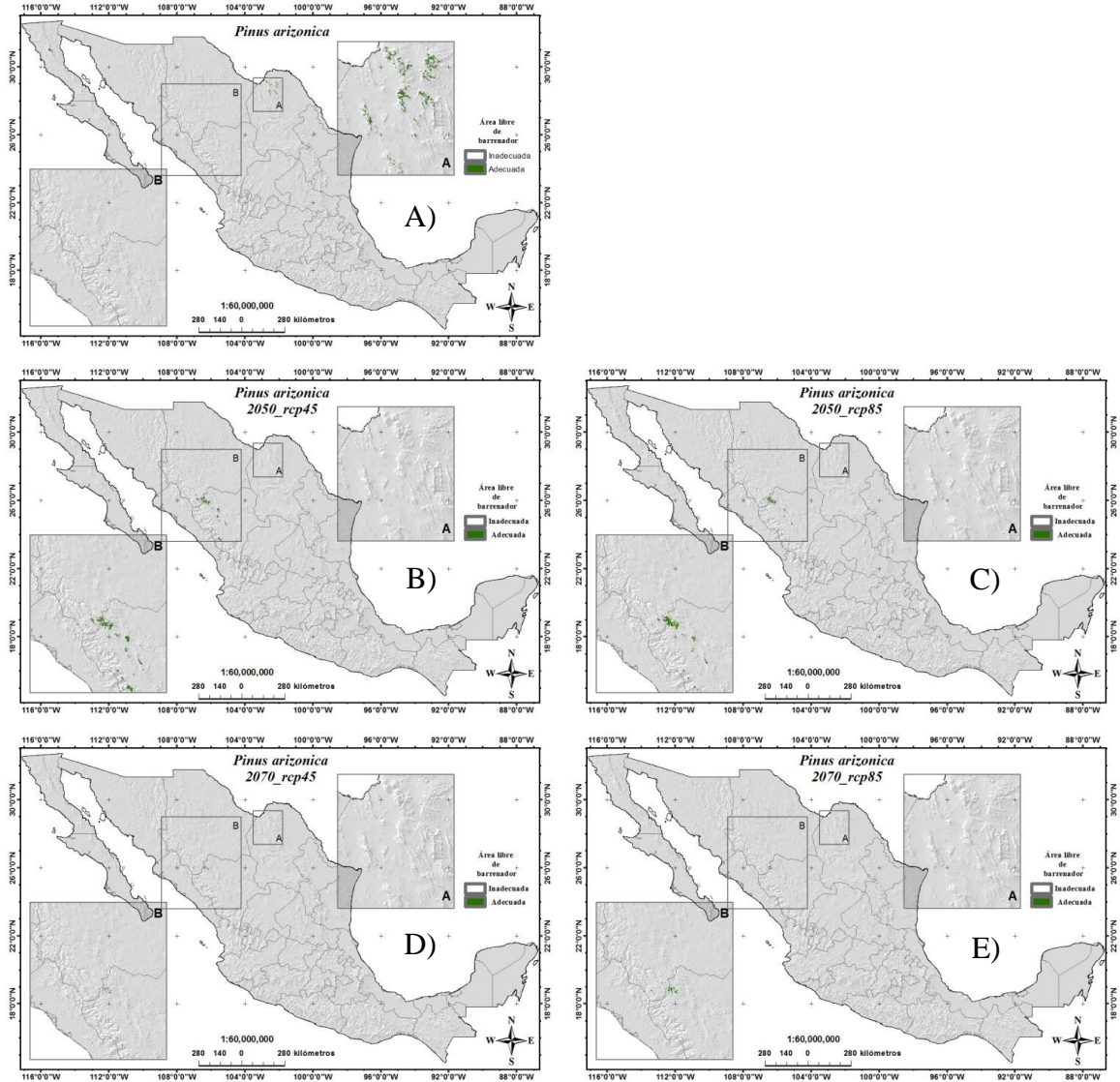


Figura 13. Distribución potencial de *Pinus arizonica* libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

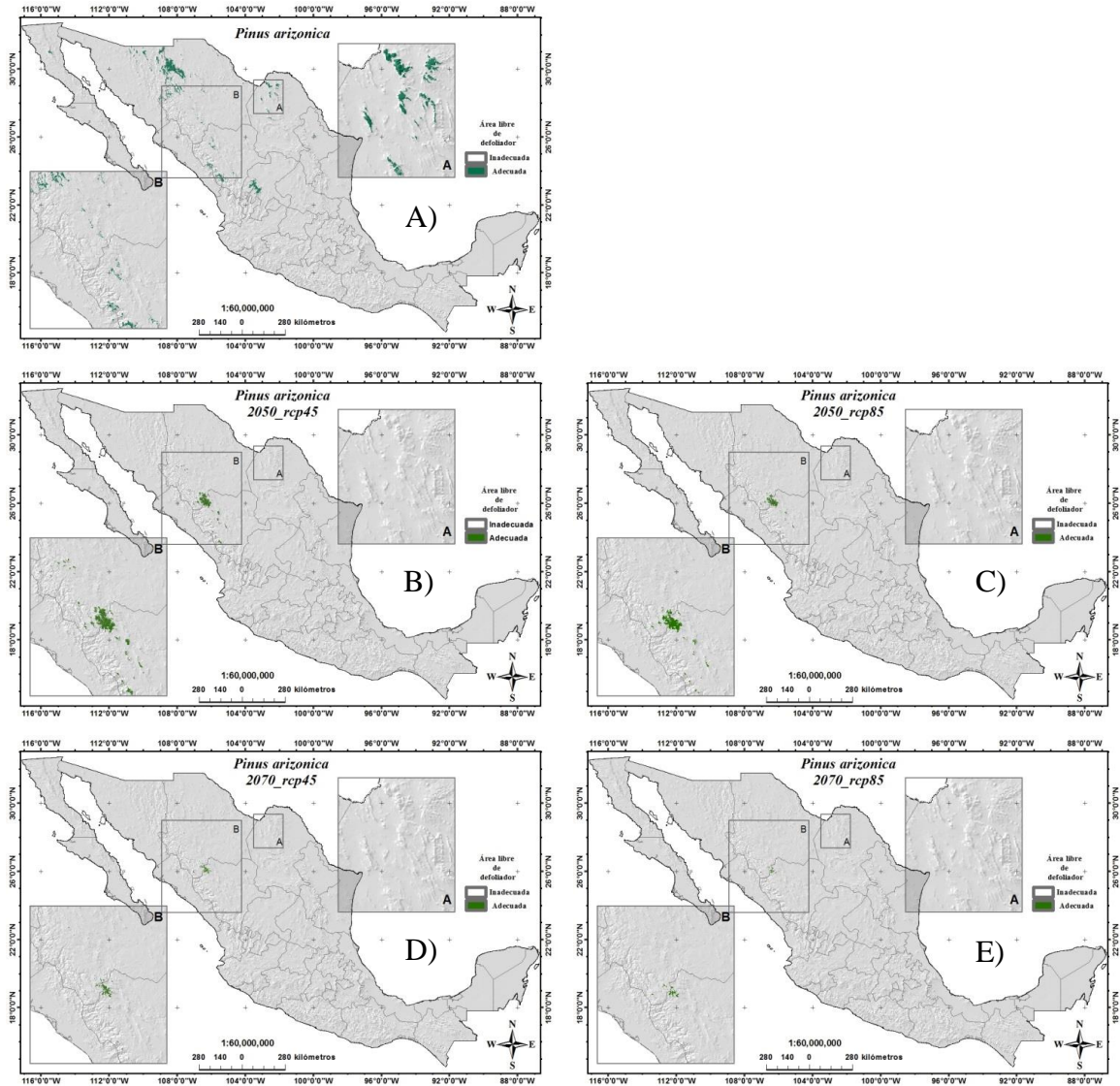


Figura 14. Distribución potencial de *Pinus arizonica* libre de defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

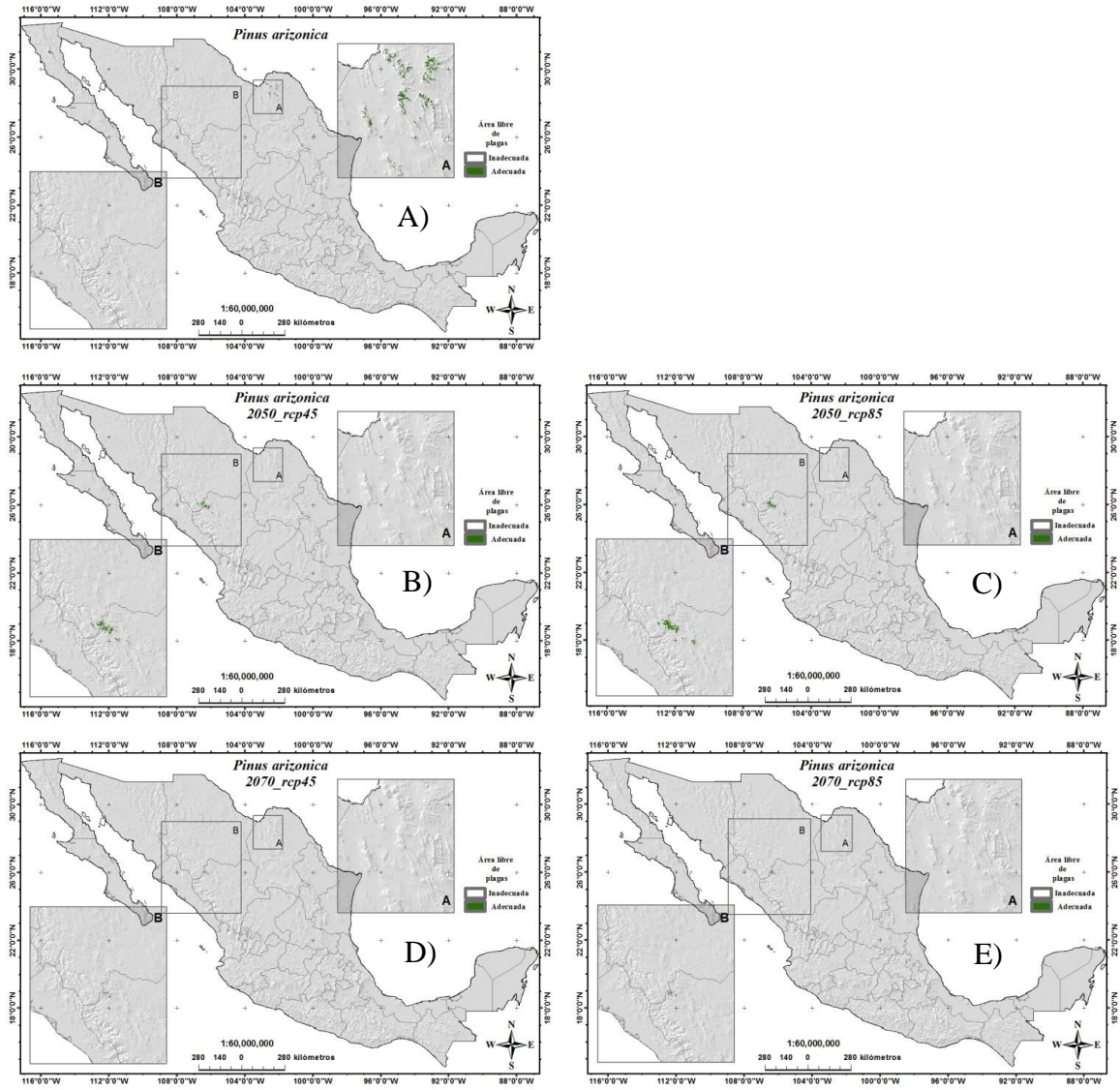


Figura 15. Distribución potencial de *Pinus arizonica* libre de descortezador, barrenador y defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

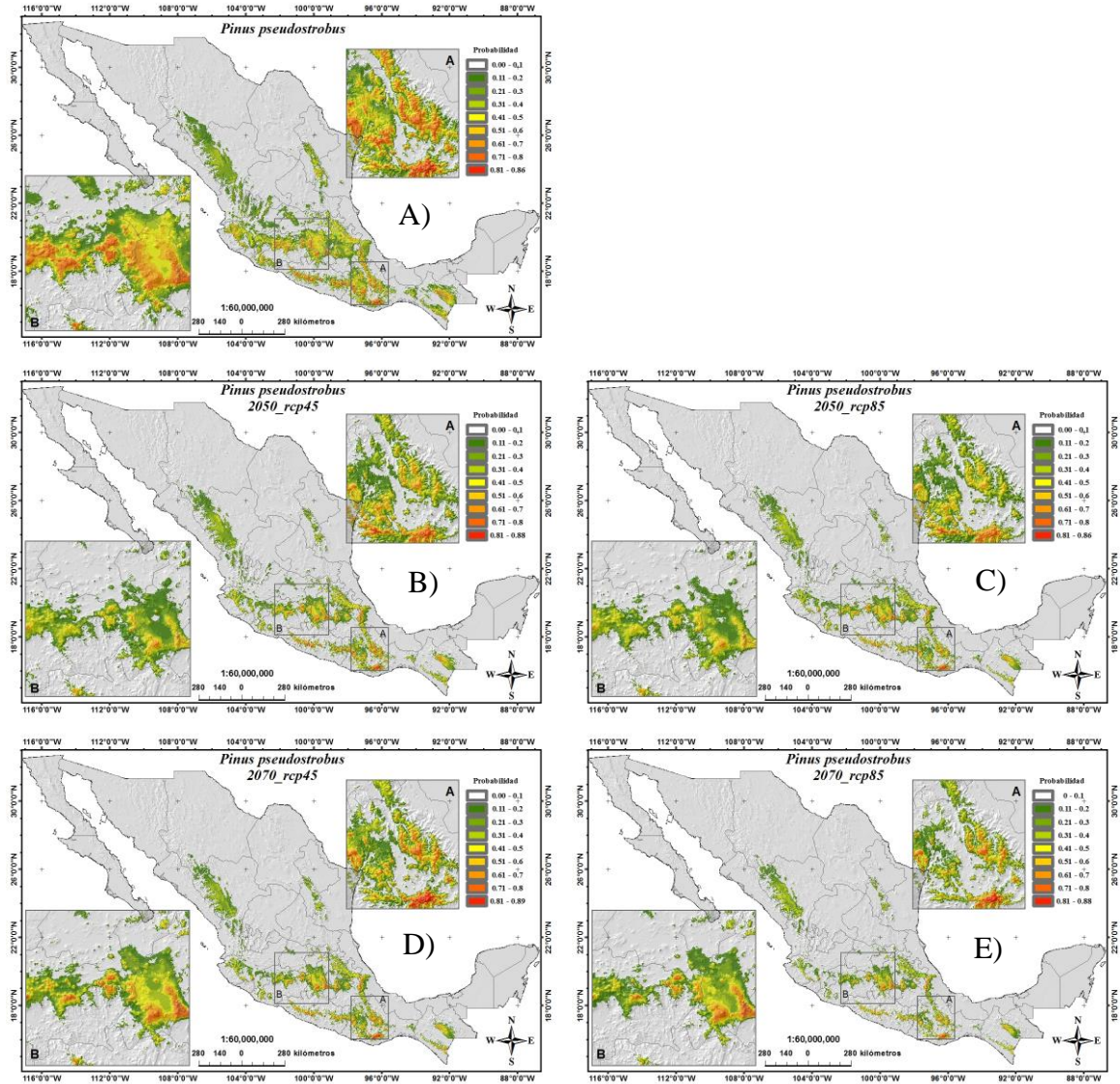


Figura 16. Distribución potencial de *Pinus pseudostrabus* escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

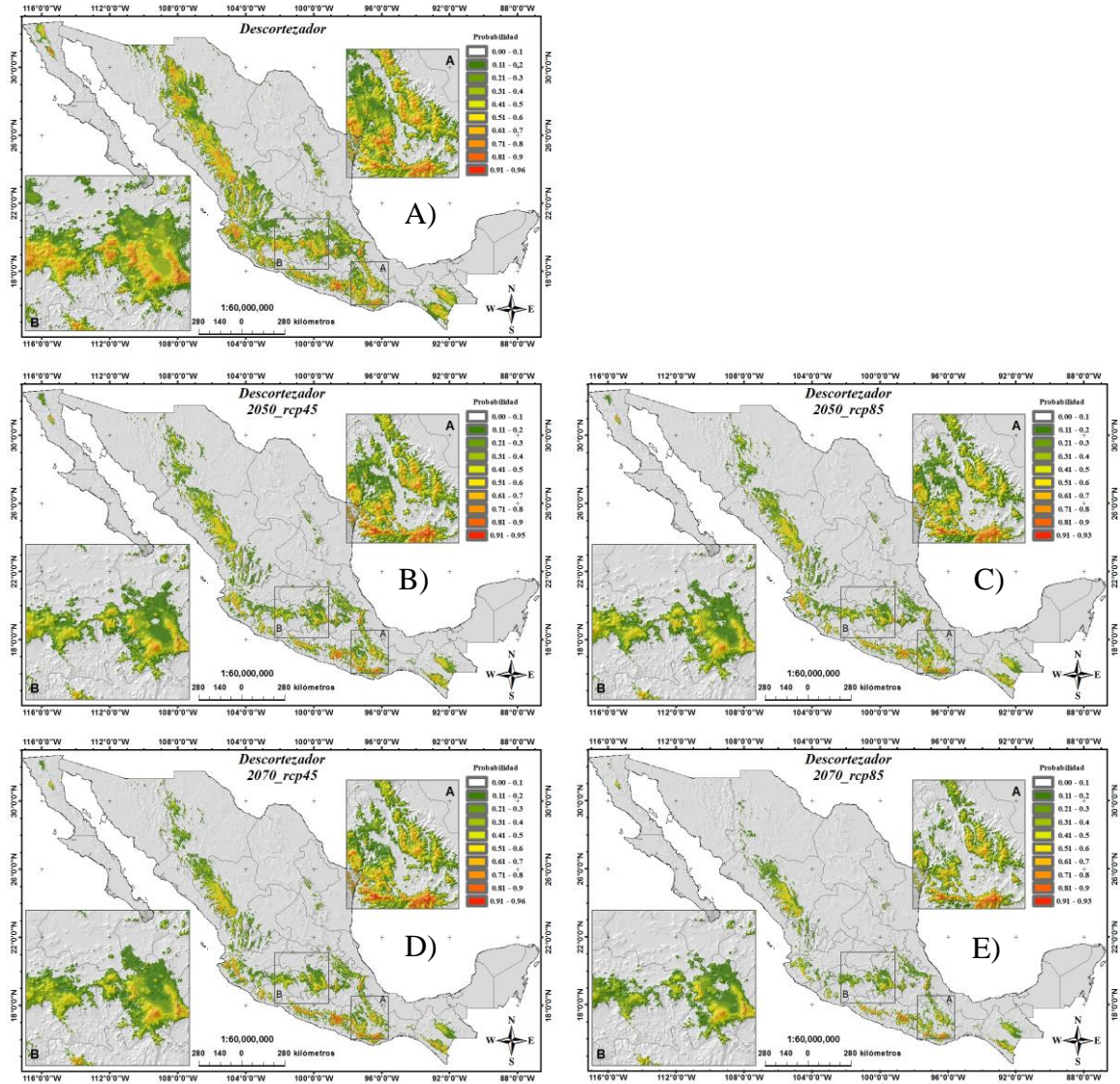


Figura 17. Distribución potencial de descortezador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

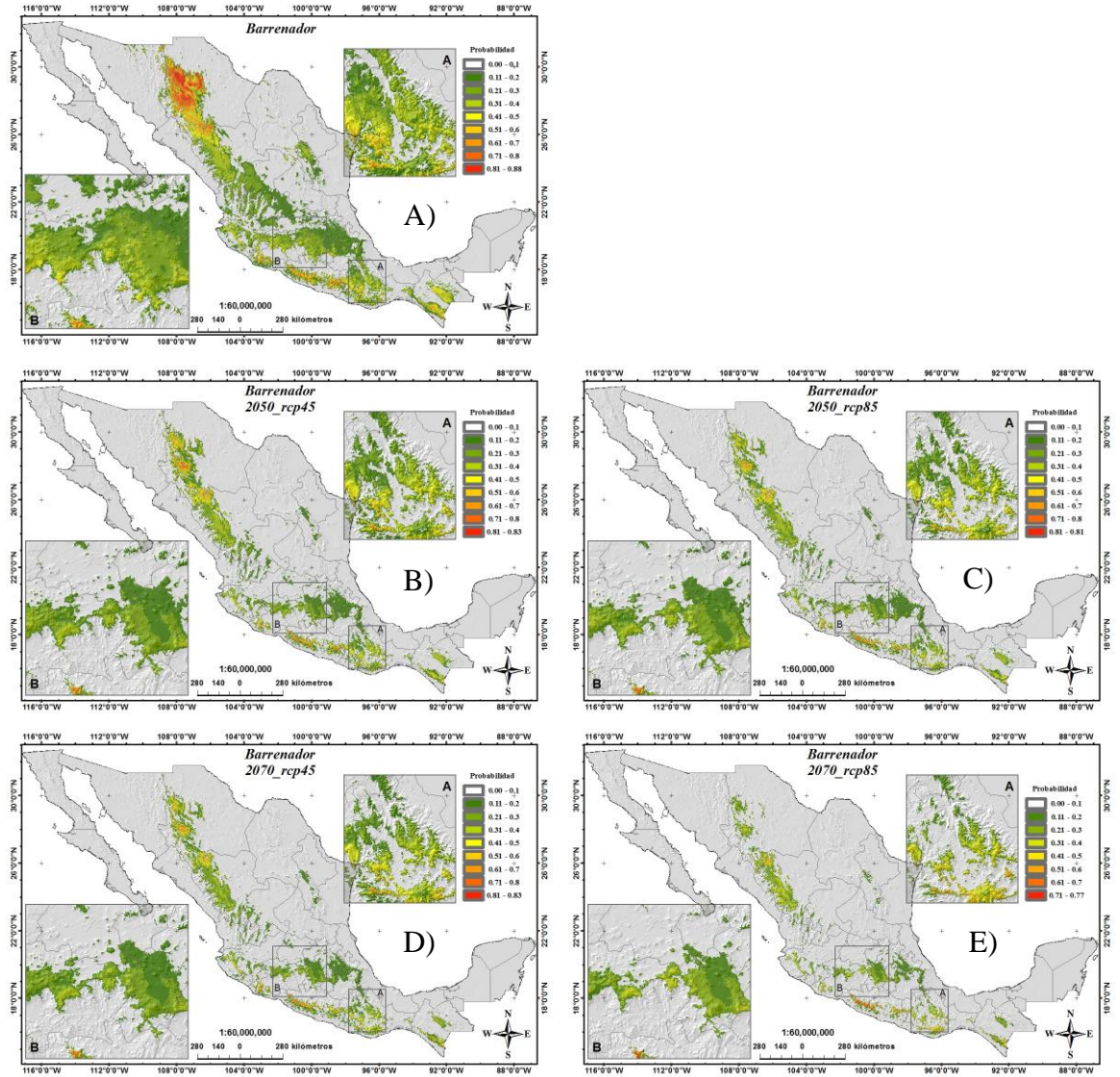


Figura 18. Distribución potencial de barrenador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

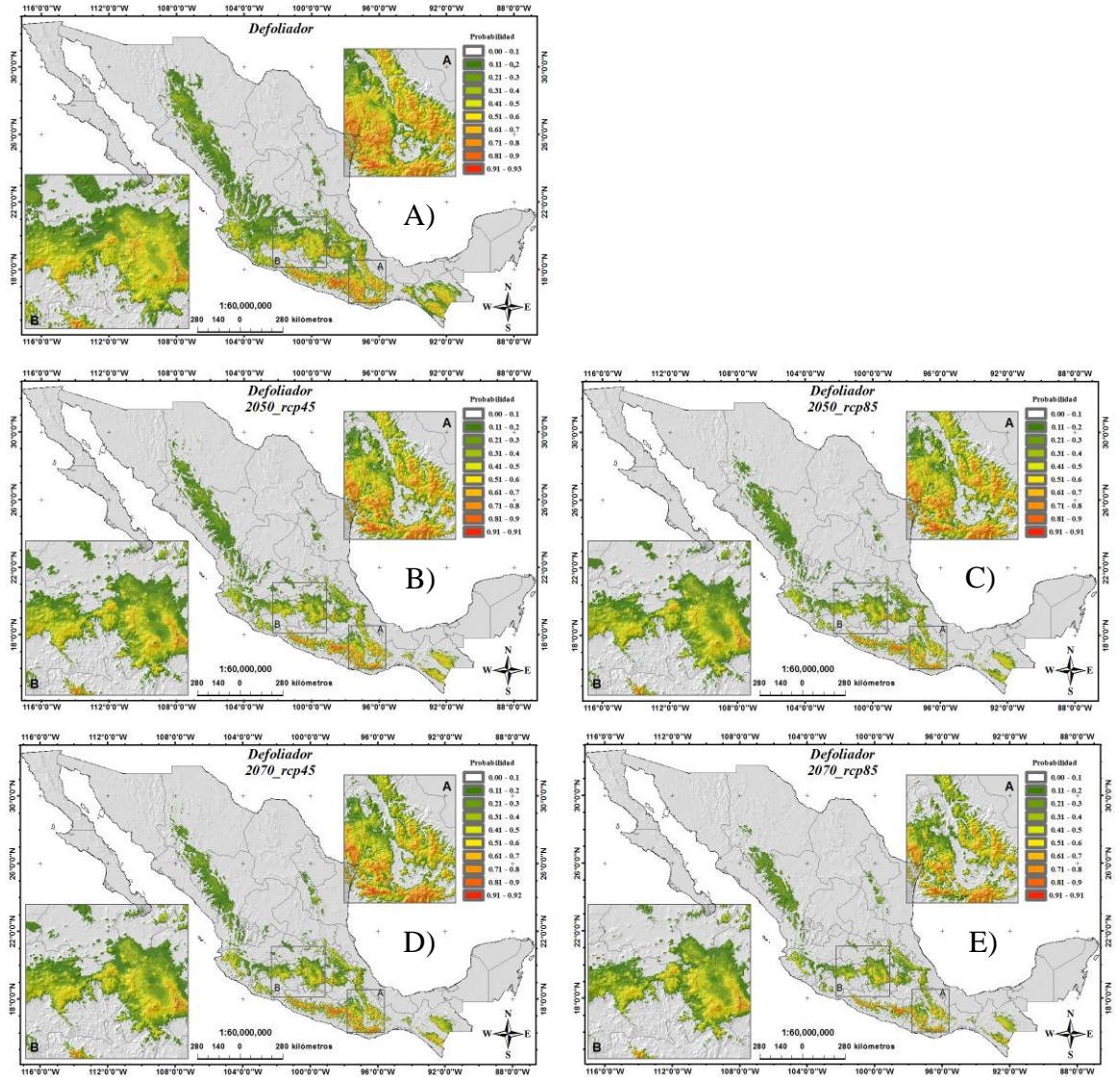


Figura 19. Distribución potencial de defoliador escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

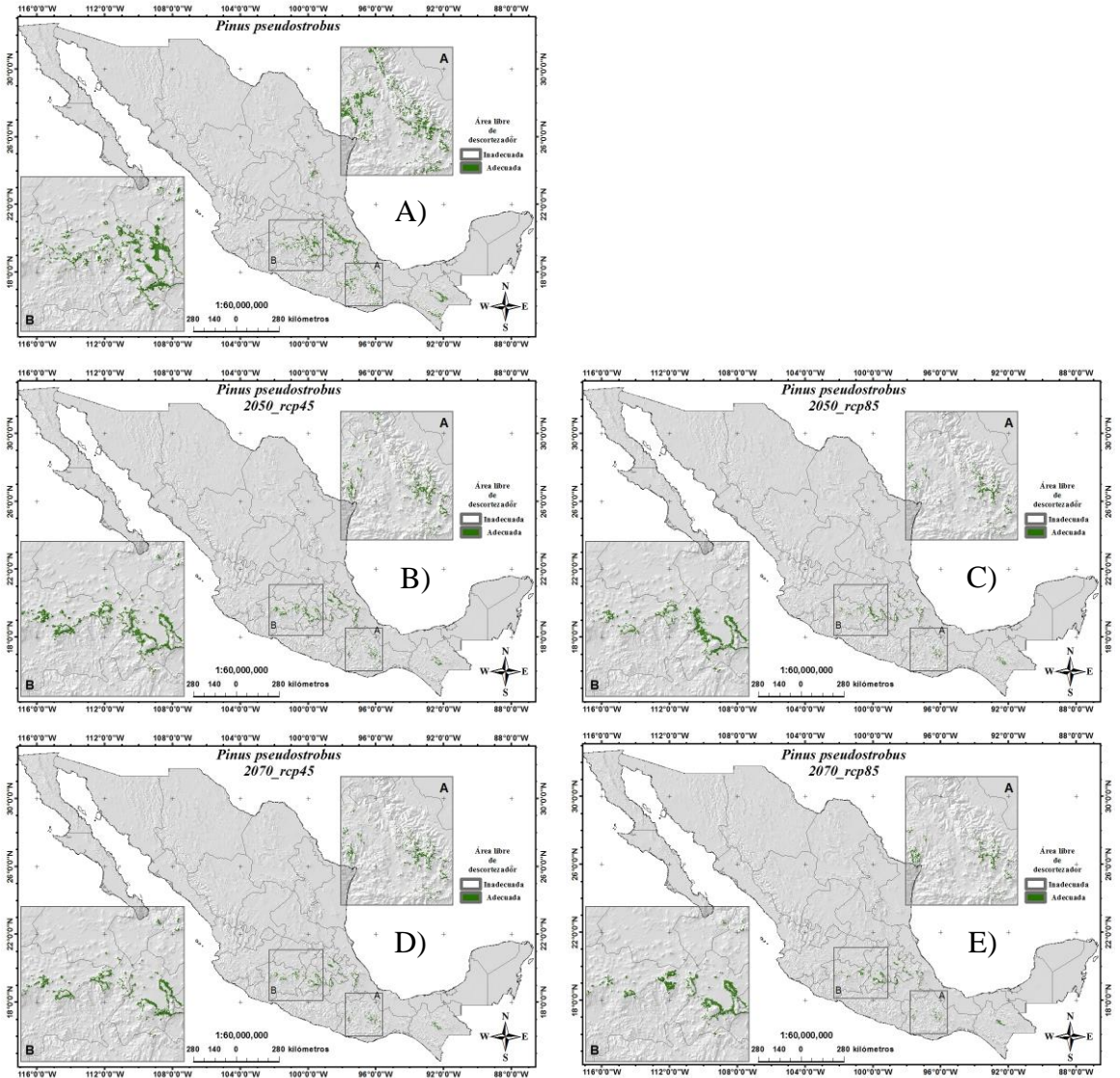


Figura 20. Distribución potencial de *Pinus pseudostrobus* libre de descortezador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

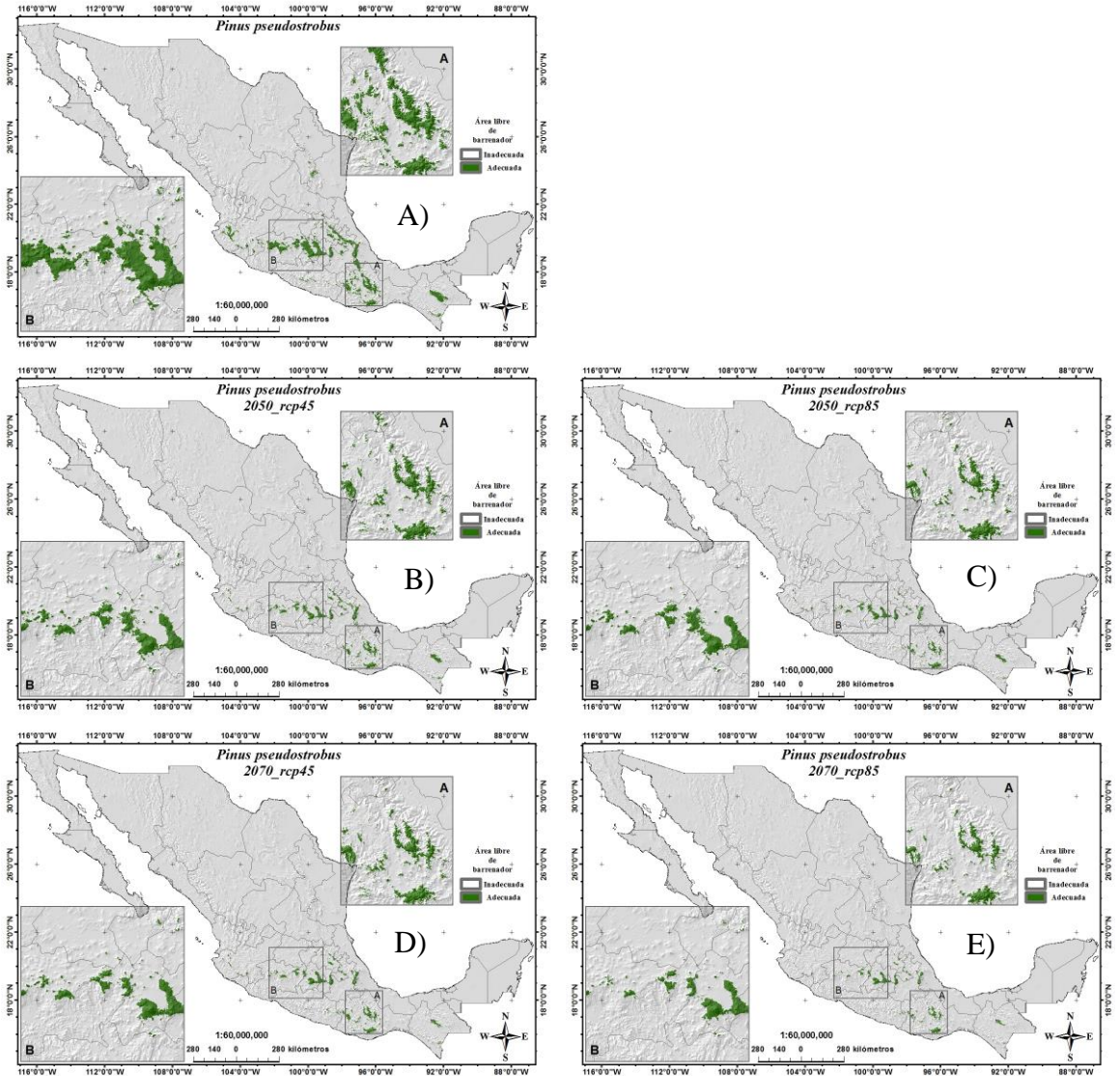


Figura 21. Distribución potencial de *Pinus pseudostrabus* libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

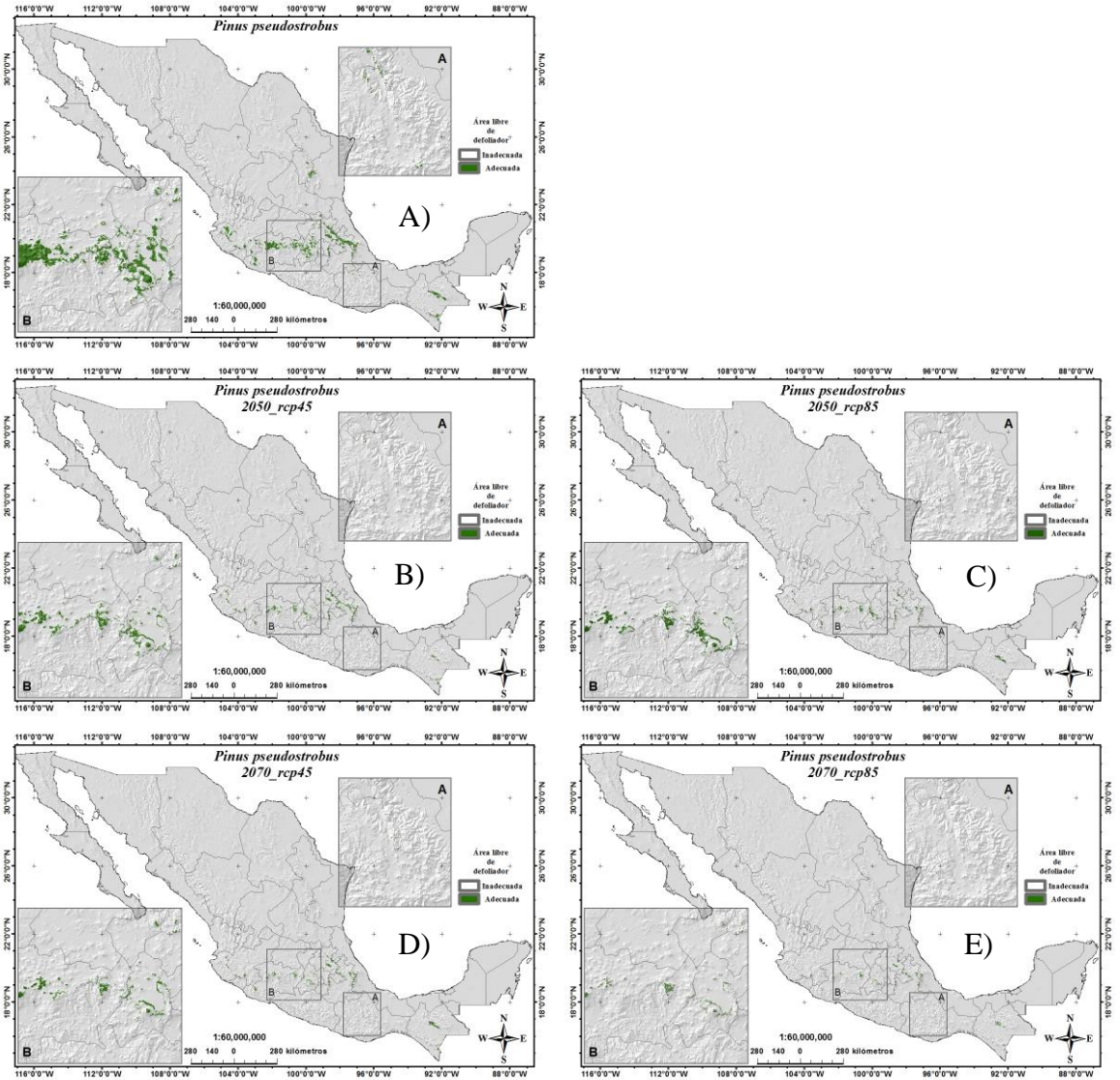


Figura 22. Distribución potencial de *Pinus pseudostrabus* libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

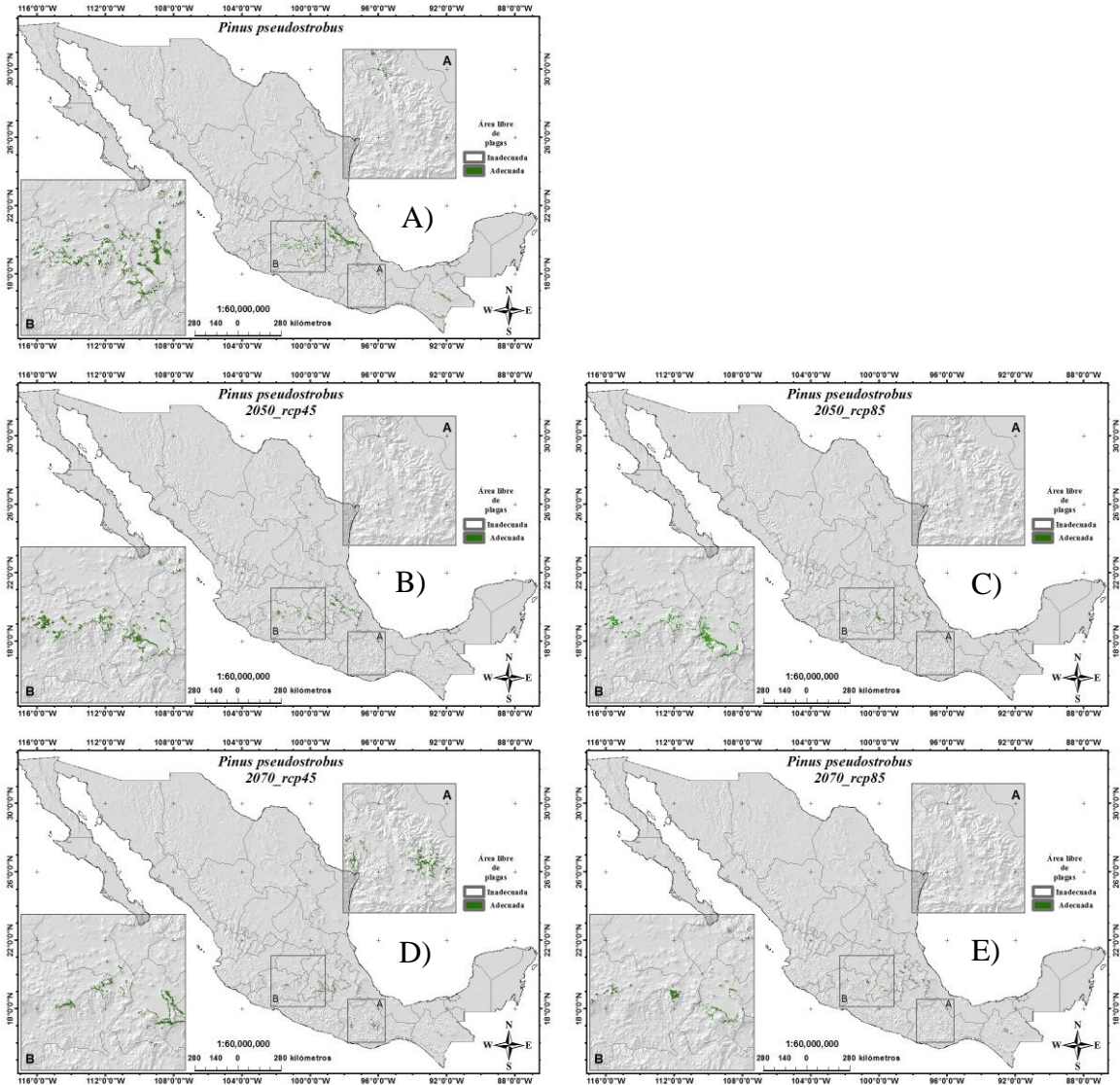


Figura 23. Distribución potencial de *Pinus pseudostrobus* libre de descortezador, barrenador y defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

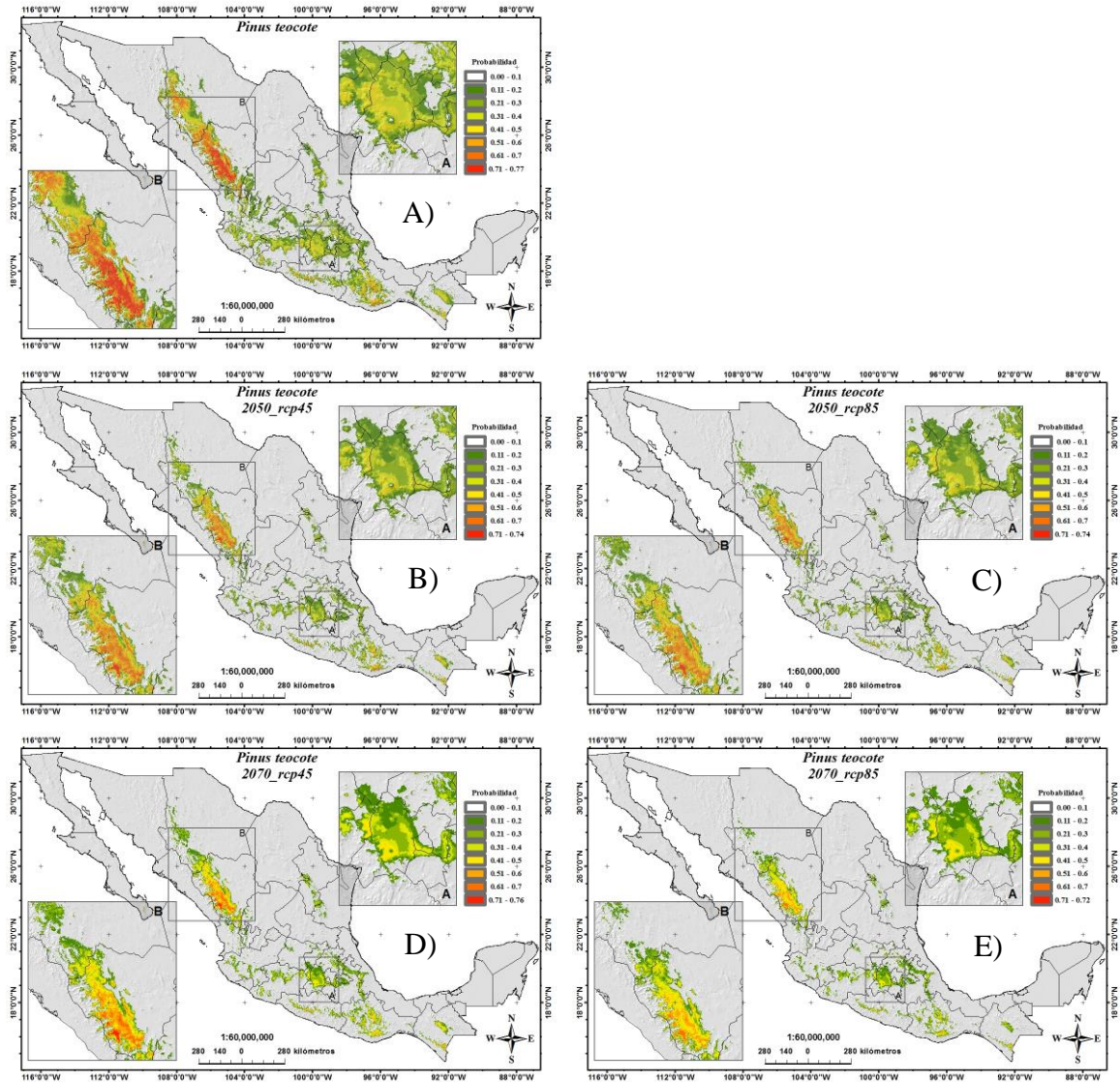


Figura 24. Distribución potencial de *Pinus teocote* escenario actual (A), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) en México.

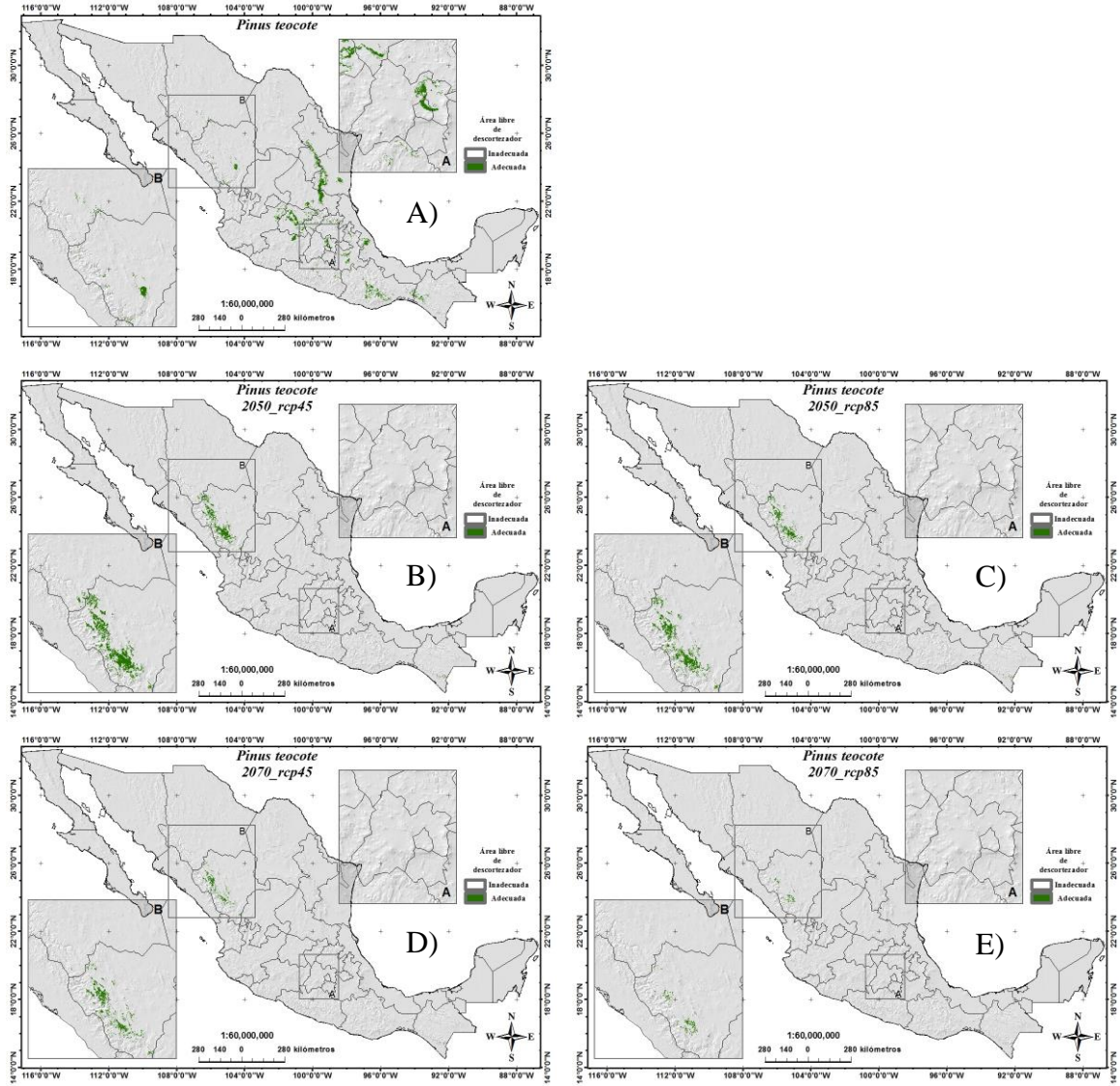


Figura 25. Distribución potencial de *Pinus teocote* libre de descortezador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

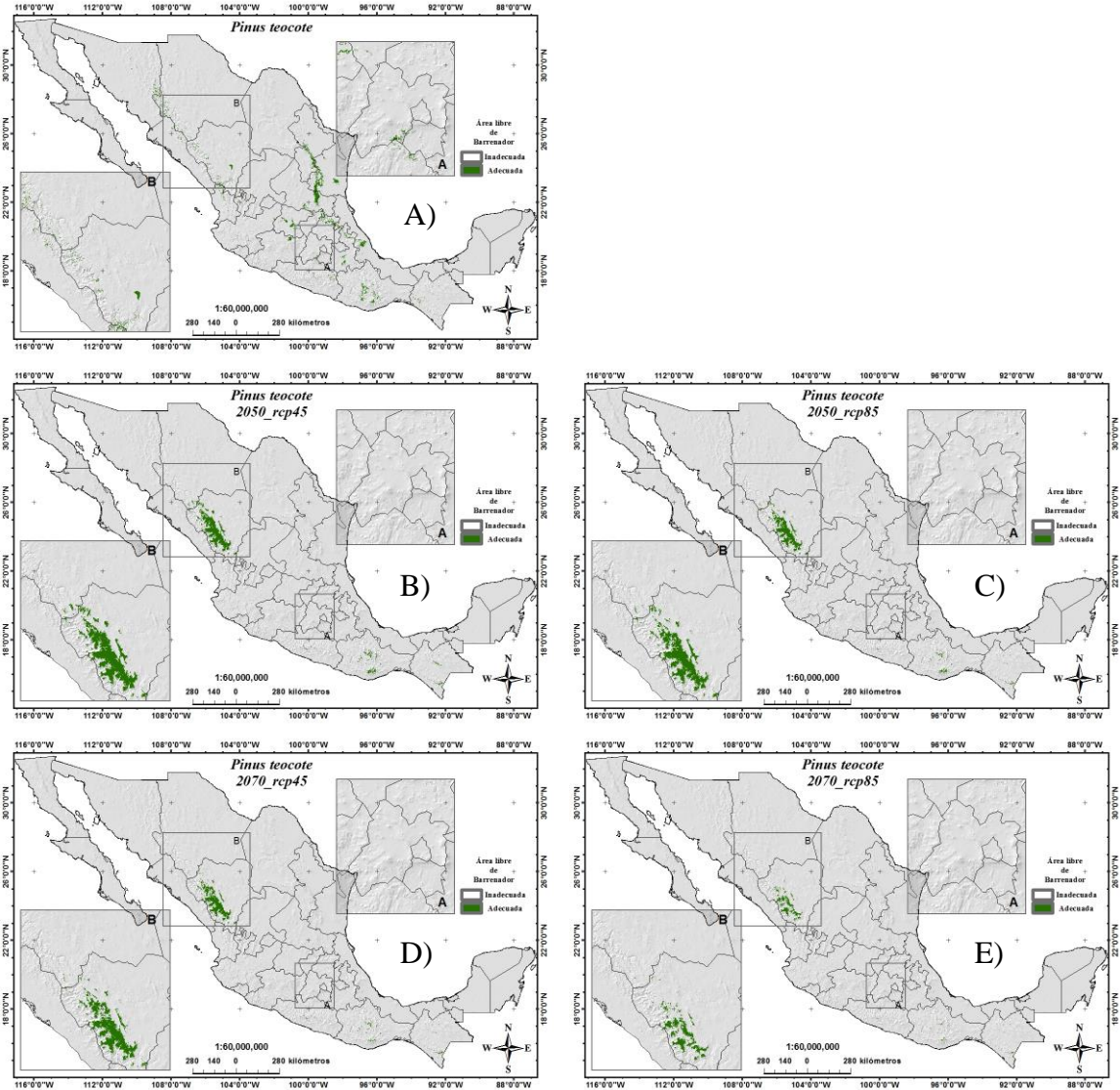


Figura 26. Distribución potencial de *Pinus teocote* libre de barrenador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

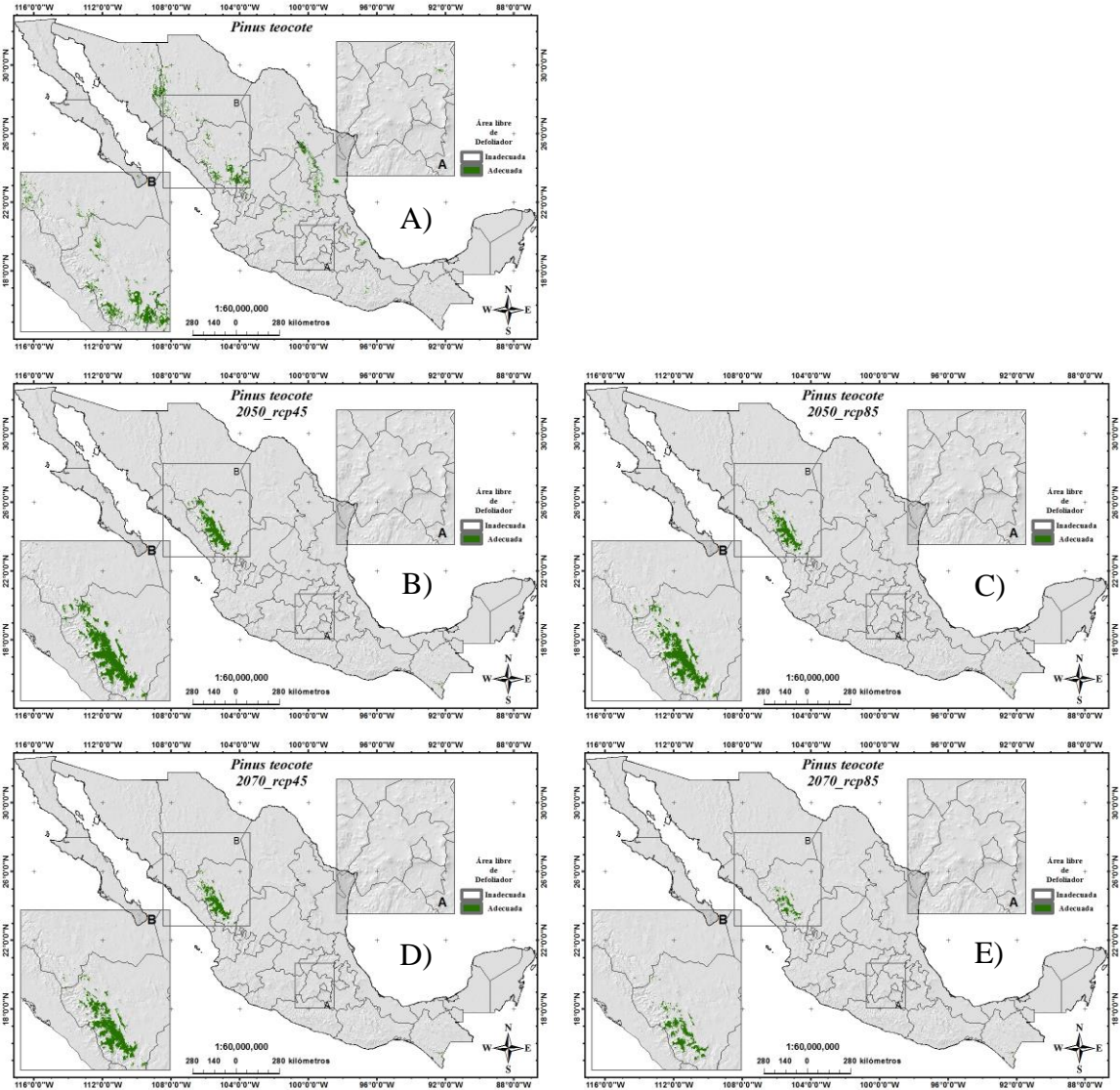


Figura 27. Distribución potencial de *Pinus teocote* libre de defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

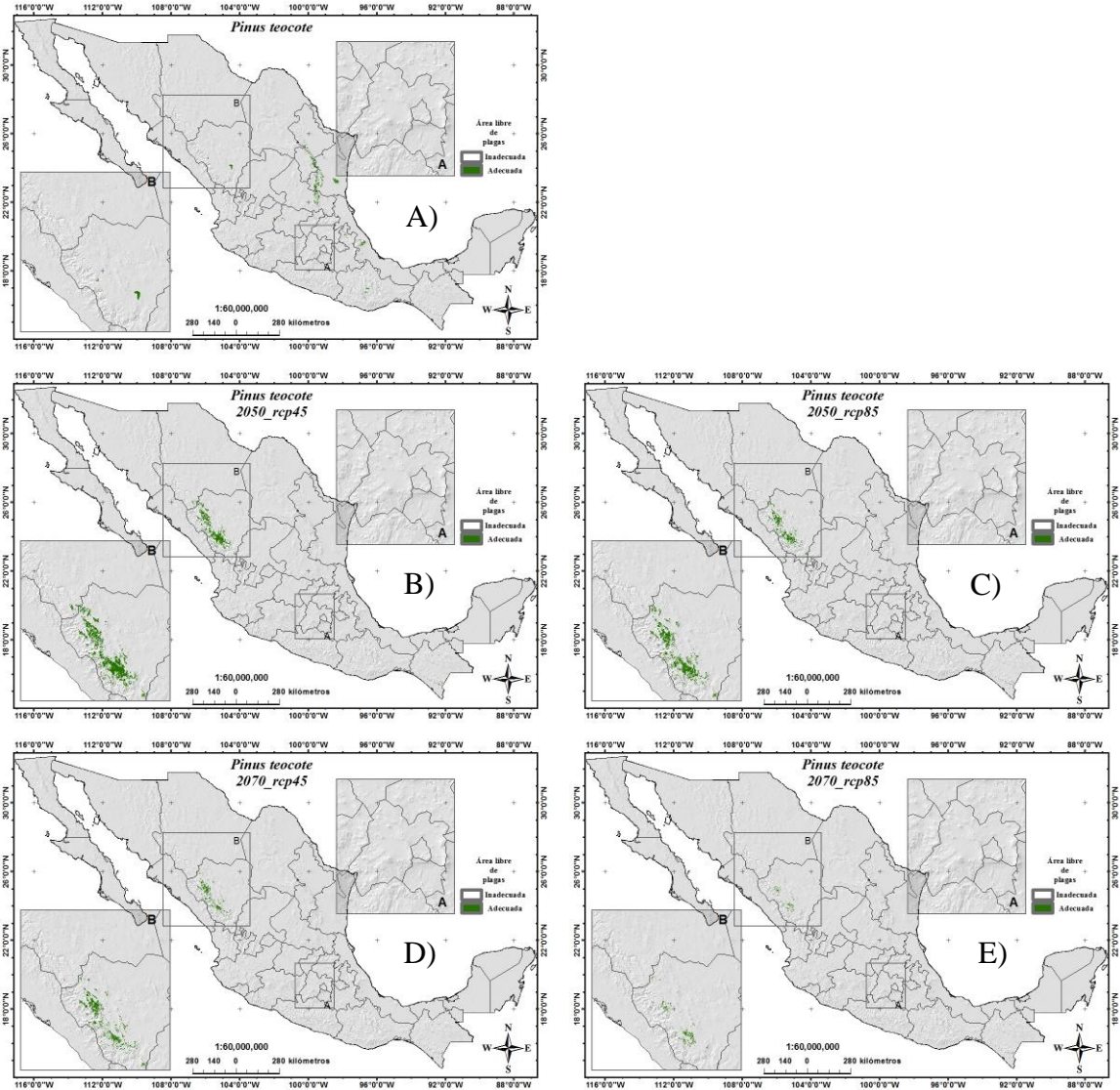


Figura 28. Distribución potencial de *Pinus teocote* libre de descortezador, barrenador y defoliador escenario actual (A) (probabilidad total), al 2050 escenario rcp45 (B) y rcp85 (C) y al año 2070 escenario rcp45 (D) y rcp85 (E) (probabilidad a un umbral ≥ 0.5) en México.

CONCLUSIONES

Se han generado modelos que proyectan la distribución potencial de *Pinus* y de plagas forestales en México a escenarios futuros, los cuales constituyen herramientas de manejo forestal, biodiversidad y conservación, sobre todo al estimar las áreas libres de plaga.

Los modelos de distribución potencial generados en este estudio se consideran de alta precisión, ya que los valores de las AUC son mayores a 0.9 y muy cercanos a 1. El uso de variables bioclimáticas de precipitación y temperatura arrojan buenos resultados más no los más adecuados; la validez del modelo se aprecia cuando los registros de presencia se distribuyen en los rangos de probabilidad de 0.7 a 0.8, y las áreas más idóneas están por encima de esa probabilidad.

De acuerdo a las pérdidas de superficie proyectadas desde el escenarios actual hasta el periodo 2070_rcp85 en la distribución potencial de *P. arizonica* (*P. pseudostrobus* y *P. teocote* se consideran más vulnerables al cambio climático que el descortezador, barrenador y defoliador, resultando también afectado el nicho ecológico de cada especie.

El escenario más crítico es 2070_rcp85 donde presentarán pérdidas de superficie *P. arizonica* -77, barrenador spp. -68.3, descortezador -63.7, *Pinus teocote* -62.6, defoliador -53 y *Pinus pseudostrobus* -41 % en su distribución potencial. Todas las especies de pino y plaga se muestran vulnerables al cambio climático, sin embargo las dos primeras serán las más afectadas rechazándose la hipótesis nula.

En el mismo escenario el área potencial de *Pinus arizonica* libre de plagas será la más afectada con -79.2, *P. teocote* libre de plagas -77.8 y *P. pseudostrobus* libre de plagas 74 % de reducción de superficie respecto al área actual.

LITERATURA CITADA

Aguirre G., J. y J. F. Duivenvoorden. 2010. Can we expect to protect threatened species in protected areas? A case study of the genus *Pinus* in México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 875-882.

Arnell, N.W. 2006. Global impacts of abrupt climate change: an initial assessment. Working Paper 99. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich: University of East Anglia. 35 p.

Arriaga, L. y L. Gómez. 2007. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. Instituto Nacional de Ecología. Consultado en <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/arriaga.html>. (09 de septiembre de 2017).

Ávila C., R., R. Villavicencio G. y J. A. Ruiz C. 2014. Distribución potencial de *Pinus herrerae* Martínez en el occidente del estado de Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales* 5: 92-109.

Bermejo V., B y J. B. Pontones. 2000. Los pinos mexicanos y su utilización como especies introducidas de alto potencial en varios países del mundo. In: CATIE, T. R., 2. Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina, & Salazar, R. c. Turrialba, Costa Rica.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W. J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A. J. Weaver and M. Wehner. 2013. Long-term Climate Change: projections, commitments and irreversibility. In: *Climate Change. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M.

Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Pp. 1029-1136.

CONAFOR. 2016. Alerta temprana y evaluación de riesgos para insectos defoliadores. 3 p.

Contreras-Medina R., I. Luna-Vega y C. A. Ríos-Muñoz. 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: 421-433.

Cruz-Cárdenas, G., J. L. Villaseñor, L. López-Mata y E. Ortiz. 2012. Potential distribution of Humid Mountain Forest in Mexico. Botanical Sciences 90: 331-340

Cruz-Cárdenas, G., L. López-Mata, J. T. Silva, N. Bernal-Santana, F. Estrada-Godoy y J. A. López-Sandoval. 2016. Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 22: 135-148.

De Cauwer, V., B. Muys, R. Revermann y A. Trabucco. 2014. Potential, realised, future distribution and environmental suitability for *Pterocarpus angolensis* DC in southern Africa. Forest Ecology and Management 315: 211-226.

Del-Val, E. y C. Sáenz-Romero. 2017. Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 20: 53-60.

Diario Oficial de la Federación. 2013. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. 144 p.

Doko T., F. A. Kooiman y A. G. Toxopeus. 2008. Modeling of species geographic distribution for assessing present needs for the ecological networks. The

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII: 267–275.

Eguiluz P., T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Revista Ciencia Forestal* 7: 30-44.

Elith J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nacazawa, J. M. Overton, A. Townsend P., S. J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.

Elith J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudik, Y. En C. y C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and distributions* 17: 43-57.

FAO .2000. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000. CONAFOR, México. 468 p.

Felicísimo, Á. M., J. Muñoz, R. G. Mateo y C. J. Villalba. 2012. Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. *Revista Ecosistemas* 21: 1-6.

García E. 1986. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Enriqueta García de Miranda. Universidad Autónoma Nacional de México. México. 155 p.

García M., M. R. 2008. Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. Memoria de Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Biología Vegetal I. Madrid, España. 188 p.

García K., R. Lasco, A. Ines, B. Lyon y F. Pulhin. 2013. Predicting geographic distribution and habitat suitability due to climate change of selected threatened forest tree species in the Philippines. *Applied Geography* 44: 12-22.

Gernandt, D. S. y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 126-133.

Godefroid, M., S. Rocha, H. Santos, M.-R. Paiva, C. Burban, C. Kerdelhué, M. Branco, J.-Y. Rasplus y J. Rossi. 2016. Climate constrains range expansion of an allochronic population of pine processionary moth. *Diversity and Distributions* 22: 1288-1300.

González E., M., E. Jurado, S. González E., O Aguirre C., J. Jiménez P. y J. Navar. 2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL* 6: 377-385.

Gutiérrez E. e I. Trejo. 2014. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 179-188.

Gray, P. A. 2005. Impacts of climate change on diversity in forested ecosystems: some examples. *The Forestry Chronicle* 81: 655–661.

Guisan A. y N. E. Zimmermann. 2000. Predictive hábitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling* 135: 147-186.

Hampe, A. y R. J. Petit. 2005. Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters* 8: 461-467.

Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

INECC. 2014. Estudio para la incorporación de nuevas variables en los escenarios de cambio climático para México utilizados en la Quinta Comunicación Nacional. Parte I: Análisis de variables atmosféricas (Históricas y escenarios de cambio climático) 59 p.

IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA 1032 p.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed., S Solomon, D Qin, M Manning, Z Chen, M Marquis M, et al. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press 18 p.

IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp 1535.

IPCC. 2014. Mitigation of Climate Change. *In:* Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx eds.. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA pp: 150-205.

Kumar S. y T. J. Stohlgren. 2009. MaxEnt modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment* 1: 094-098.

Leal-Nares, Ó., M. E. Mendoza, D. Pérez-Salicrup, D. Geneletti, E. López-Granado y E. Carranza. 2012. Distribución potencial de *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en el conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 1152-1170.

López S., J. Méndez G., A. Zermeño G., J. Cerano P. y M. A. García A. 2017. Impacto de descortezadores en el incremento radial de *Pinus teocote* Schiede. Ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8: 82-108.

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

Mateo, R. G., A. M. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 217-240.

Morales, N. 2012. Modelos de distribución de especies: Software MaxEnt y sus aplicaciones en Conservación. *Revista de Conservación Ambiental* 2: 1-5.

Muñoz J. y A. M. Felicísimo. 2004. A comparison between some statistical methods commonly used in predictive modeling. *Journal of Vegetation Science* 15: 285-292.

Ordóñez J. A. B. y O. Masera. 2001. Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7: 3-12.

O'rouke E. 2006. Biodiversity and land use change on the Causse Méjan, France. *Biodiversity and Conservation* 15: 2611-2626.

Palma-Ordaz S. y J. Delgadillo-Rodríguez. 2014. Distribución Potencial de Ocho Especies Exóticas de Carácter Invasor en el Estado de Baja California, México. *Botanical Sciences* 92: 587-597.

Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37:637-669.

Peterson, A. T., V. Sánchez-Cordero, E. Martínez-Meyer y A. G. Navarro-Sigüenza. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-cover information. *Ecological Modelling* 195: 229-236.

Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M.B. Araújo. 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 314 p.

Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.

Phillips, S. J., M. Dudík y R. E. Schapire. 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, Banff, Canada*. Pp: 655-662.

Phillips, S. J. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.

Pompa G., M., J. J. Corral R., M. A. Díaz V. y M. Martínez S. 2009. Función de ahumamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. en el suroeste de Chihuahua. *Revista Ciencia Forestal de México* 34: 119-136.

Ramírez-Herrera, C., J. J. Vargas-Hernández y J. López-Upton. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72: 1-16.

Ramos-Dorantes, D. B., J. L. Villaseñor, E. Ortiz y D. S. Gernandt. 2017. Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad 88: 215-223.

Rentería A., L. I. Y A. García A. 1997. Las coníferas de la reserva de la Biosfera “La Michilía) Durango, México. Madera y Bosques 3: 53-70.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México, D.F. 432 p.

Ruiz C., E., J. M. Coronado B. y O. S. Escamilla G. 1997. Insectos plaga de *Pinus cembroides* Zucc. y *P. nelsoni* Shaw en el suroeste de Tamaulipas, México. Biotam 8: 41-48.

Quiñónez-Barraza G., H.M. De los Santos-posada, J. G. Álvarez-González y A. Velázquez-Martinez. 2014. Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial para las principales especies de *Pinus* en Durango, México. Agrociencia 48: 553-557.

Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques 14: 107-120.

Salinas-Moreno, Y., C. F. Vargas M., G. Zúñiga, J. Víctor., A. Ager y J. L. Hayes. 2010. Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* Curculionidae: Scolytinae en México. 1ª edición. 90 p.

Sosa-Ramírez, J., O. Moreno-Rico, G. Sánchez-Martínez, M. E. Siqueiros-Delgado y V. Díaz-Núñez. 2011. Ecología y fitosanidad de los encinos *Quercus* spp. en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. Madera y Bosques 17: 49-63.

Stockwell D. y D. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction, *International Journal of Geographical Information Science*, 13: 143-158.

Stockwell, D. R. B. y A. T. Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148: 1-13.

Syfert, M. M., L. Joppa, M. J. Smith, D. A. Coomes, S. P. Bachman y N. A. Brummitt. 2014. Using species distribution models to inform IUCN Red List assessments. *Biological Conservation* 177: 174-184.

Téllez V., O., Y. M. Chávez H., A. Gómez-Tagle C. y M. V. Gutiérrez G. 2004. Modelado Bioclimático como herramienta para el manejo forestal: estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Revista Ciencia Forestal en México* 29: 61-82.

Trejo, I., J. Hernández y L. Villers. 2007. Afectación de las comunidades vegetales de México ante el cambio climático. In: XI Encuentro de Geógrafos de América. Uriarte, S. 2003, *Historia del clima de la tierra*, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasvo.

Velázquez de C. G., F. 2005. Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencia y estrategias. *Compromisos para España*. *Rev Esp Salud Pública* 79: 191-201.

Villacide, J. M. y J. C. Corley. 2003. Distribución potencial del parasitoide *Ibalia Leucospoides* Hymenoptera: Ibalidae en la Argentina. *Revista de Ciencias Forestales-Quebracho* 10: 7-13.

Yáñez-Arancibia, A., R. R. Twilley y A. L. Lara-Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques* 4: 3-19.

Walther G., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. Beebee, J. Fromentin y F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395.

Walther, G.-R. 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 365: 2019-2024.

Watanabe, M., T. Suzuki, R. Oishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T. Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T. Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tabete y M. Kimoto. 2010. Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. *Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokio*. 68 p.

Yeaton R. I. 1982. The altitudinal distribution of the genus *Pinus* in the western United States and Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 42: 55-71.

Yu, J., C. Wang, J. Wan, S. Han, Q. Wang y S. Nie. 2014. A model-based method to evaluate the ability of nature reserves to protect endangered tree species in the context of climate change. *Forest Ecology and Management* 327: 48-54.

Zutta, B. R., P. W. Rundel, S. Saatchi, J. D. Casana, P. Gauthier, A. Soto, Y. Velazco y W. Buermann. Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. *Revista Peru Biología* 19: 205-2012.

ANEXOS

Anexo 1. Perfil bioclimático que determina la distribución potencial de *Pinus arizonica* en México.

Perfil bioclimático en la distribución de <i>Pinus arizonica</i>					
Variable	Proyección	2050		2070	
	Actual	rcp_45	rcp_85	rcp_45	rcp_85
Bio1	9.5-20.3	11.7-23.0	12.0-23.5	12.1-23.4	13.0-24.6
Bio2	12.1-19.1	12.3-19.9	12.2-20.1	12.5-20.4	12.4-20.6
Bio3	47-67	46-68	45-67	46-68	47-69
Bio4	17.9-62.8	18.4-64.2	18.8-66.0	18.3-66.3	19.0-67.1
Bio5	20.5-33.1	21.9-29.3	22.2-37.2	22.7-37.3	23.1-38.2
Bio6	-6.9,7.8	-5.2-9.3	-5.0-9.7	-5.3-9.6	-4.2-10.6
Bio7	20.4-35.3	20.7-37.2	20.2-37.9	21.0-38.3	20.7-38.1
Bio8	12.8-25.9	14.5-28.4	14.9-29.1	14.8-28.7	1.58-30.0
Bio9	6.0-19.2	8.0-21.3	8.6-21.5	8.5-21.8	9.6-22.7
Bio10	13.2-26.4	14.9-29.2	15.2-29.9	15.3-29.7	16.2-30.8
Bio11	2.2-15.3	4.3-17.1	4.7-17.5	4.6-17.4	5.6-18.4
Bio12	286-1426	287-1401	267-1386	294-1373	279-1322
Bio13	60-326	64-329	54-324	32-328	58-316
Bio14	2-20	2-16	2_17	1-16	1-13
Bio15	52-120	62-122	61-130	73-134	72-128
Bio16	138_829	161-828	141-844	169-838	160-837

Bio17	11-75	8-65	7-66	7-58	6-47
Bio18	112-766	125-754	117-763	136-756	135-769
Bio19	23-243	18-199	17-184	15-168	15-134

Anexo 2. Perfil bioclimático que determina la distribución potencial de *Pinus pseudostrobus* en México.

Perfil bioclimático en la distribución de <i>Pinus pseudostrobus</i>					
Variable	Proyección	2050		2070	
	Actual	rcp_45	rcp_85	rcp_45	rcp_85
Bio1	6.8-24.2	8.8-25.9	9.3-26.3	9.2-26.1	10.2-27.1
Bio2	10.0-18.5	10.3-19.3	10.2-19.4	10.3-19.8	10.4-20.0
Bio3	54-80	54-79	53-78	53-78	53-77
Bio4	5.1-48.7	5.5-50.1	59.9-51.6	6.2-51.3	6.8-51.7
Bio5	15.9-33.5	18.0-35.8	18.6-36.9	18.9-37.0	19.8-38.2
Bio6	-3.8-15.9	-2.0-17.4	-1.7-17.7	2.1-17.6	-1.0-18.5
Bio7	13.8-32.2	14.0-34.1	14.2-34.8	14.2-35.4	14.2-35.3
Bio8	7.2-24.4	9.4-26.7	9.9-27.3	9.8-27.0	11.0-28.3
Bio9	5.3-24.4	7.2-25.3	7.6-26.5	7.7-26.5	8.5-26.9
Bio10	8.2-25.5	10.2-27.3	10.7-27.9	10.8-27.7	11.9-29.1
Bio11	5.3-23.0	6.8-24.5	7.3-24.8	7.1-24.7	8.0-25.6
Bio12	482-3546	471-3284	465-3418	458-3423	477-3289

Bio13	79-721	87-645	89-626	106-698	102-695
Bio14	1-77	1-59	1-64	1-69	1-53
Bio15	74-111	51-112	52-117	50-121	117-117
Bio16	195-1894	204-1730	216-1775	213-1810	213-1777
Bio17	8-266	7-249	7-235	7-242	6-223
Bio18	83-802	76-804	91-741	99-719	93-726
Bio19	17-441	16-500	21-531	17-527	15-448

Anexo 3. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de *Pinus teocote* en México.

Perfil bioclimático en la distribución de <i>Pinus teocote</i>					
Variable	Proyección	2050		2070	
	Actual	rcp_45	rcp_85	rcp_45	rcp_85
Bio1	8.3-23.8	10.3-25.5	10.7-25.9	10.7-25.7	11.7-26.8
Bio2	9.5-18.9	9.8-19.6	9.9-19.8	9.9-20.1	10.1-20.3
Bio3	50-81	50-80	49-78	49-79	50-77
Bio4	4.3-63.0	4.8-64.6	5.3-66.3	5.5-66.6	6.2-67.3
Bio5	17.5-33.8	19.7-36.8	20.0-37.6	20.7-37.8	21.2-39.2
Bio6	-6.1-14.9	-4.4-16.4	-4.1-16.7	-4.5-16.7	-3.4-17.6
Bio7	13.9-35.3	14.2-37.3	14.4-37.8	14.2-38.3	14.5-38.1
Bio8	8.7-26.0	10.9-28.6	11.3-29.1	11.2-28.9	12.4-30.2
Bio9	6.8-24.1	8.6-25.7	9.1-26.2	9.2-26.1	10.0-27.0

Bio10	9.7-26.5	11.7-29.3	12.2-29.8	12.3-29.8	13.2-31.1
Bio11	3.3-22.4	5.3-24.0	5.8-24.3	5.7-24.2	6.8-25.1
Bio12	400-2470	388-2387	354-2443	366-2463	323-2305
Bio13	86-469	94-575	96-528	102-601	81-588
Bio14	2-74	1-59	1-64	1-69	1-53
Bio15	47-123	51-124	52-131	50-135	57-130
Bio16	233-1284	236-1300	221-1289	236-1325	200-1312
Bio17	7-266	7-249	6-235	5-242	5-223
Bio18	75-747	81-741	81-741	87-773	88-721
Bio19	13-441	11-500	15-531	13-589	11-448

Anexo 4. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de descortezador en México.

Perfil bioclimático en la distribución de descortezador					
Variable	Proyección	2050		2070	
	Actual	rcp_45	rcp_85	rcp_45	rcp_85
Bio1	7.0-24.7	8.9-26.4	9.4-26.8	9.2-26.7	10.3-27.7
Bio2	10.1-18.9	10.4-19.8	10.3-19.9	10.3-20.2	10.4-20.5
Bio3	44-80	46-79	45-78	45-78	45-77
Bio4	5.0-63.1	5.6-63.5	6.2-64.9	6.4-65.2	7.1-65.7
Bio5	16.2-34.3	18.4-37.3	18.9-38.2	19.4-38.3	20.2-39.2
Bio6	-5.6-15.8	-3.8-17.3	-3.5-17.6	-3.9-17.5	-2.8-18.4

Bio7	13.9-35.1	14.2-36.9	14.3-37.6	14.4-38.0	14.4-37.9
Bio8	3.2-24.8	5.0-26.6	5.2-27.0	5.2-26.8	5.9-28.0
Bio9	5.6-25.0	7.4-26.1	7.8-26.4	7.9-27.1	8.7-26.9
Bio10	8.2-26.3	10.3-28.0	10.8-28.4	10.7-28.3	11.9-29.3
Bio11	3.2-23.3	5.0-24.9	5.2-25.1	5.2-25.1	5.9-25.9
Bio12	323-2719	301-2665	271-2762	243-2726	230-2754
Bio13	55-536	54-620	38-588	39-636	37-642
Bio14	1-61	1-50	1-53	1-57	1-52
Bio15	48-118	58-122	54-126	55-130	57-124
Bio16	135-1443	115-1509	107-1535	90-1496	90-1521
Bio17	9-209	7-215	7-207	6-217	6-206
Bio18	74-885	96-949	76-902	67-922	74-860
Bio19	18-372	17-396	18-431	18-542	15-397

Anexo 5. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de barrenador en México.

Perfil bioclimático en la distribución de barrenador					
Variable	Proyección	2050		2070	
	Actual	rcp_45	rcp_85	rcp_45	rcp_85
Bio_01	9.4-25.2	11.3-26.9	11.7-17.3	11.8-27.2	12.7-28.3
Bio_02	10.7-19.4	10.9-20.2	10.9-20.4	10.9-20.6	11.0-20.9
Bio_03	49.0-78.0	49.0-78.0	49.0-77.0	49.0-78.0	49.0-77.0

Bio_04	5.8-63.1	6.2-64.7	6.6-66.6	6.6-66.7	7.4-67.7
Bio_05	18.5-34.6	20.8-37.2	21.0-38.1	21.7-38.2	22.1-39.2
Bio_06	-6.4-16.2	-4.7-17.7	-4.4-18.0	-4.8-18.1	-3.7-18.8
Bio_07	15.2-35.6	15.5-37.7	15.5-38.2	15.5-38.7	15.6-38.5
Bio_08	9.8-26.0	12.0-28.2	12.4-28.8	12.4-28.5	13.5-29.8
Bio_09	7.8-25.4	9.8-26.4	10.5-27.4	9.2-27.5	10.5-27.7
Bio_10	10.9-27.3	12.9-29.4	13.3-29.9	13.4-29.8	14.3-31.0
Bio_11	3.3-24.0	5.4-25.6	5.8-25.9	5.7-25.8	6.8-26.6
Bio_12	374-2575	370-2665	344-2762	353-2726	314-2754
Bio_13	68-524	77-620	81-588	91-617	76-642
Bio_14	1.0-55.0	1.0-45.0	1.0-47.0	1.0-49.0	1.0-44.0
Bio_15	47-118	55-126	55-127	53-129	59-124
Bio_16	190-1446	193-1509	203-1535	195-1496	191-1521
Bio_17	8-205	7-190	6-193	7-189	6-153
Bio_18	93-855	100-880	100-870	108-855	102-798
Bio_19	20-268	17-311	16-334	14-337	14-291

Anexo 6. Perfil Bioclimático que determina la distribución potencial de defoliador en México.

Perfil bioclimático en la distribución de defoliador					
Variable	Proyección	2050		2070	
	Actual	rcp_45	rcp_85	rcp_45	rcp_85
Bio1	9.0-25.7	10.9-27.3	11.4-27.7	11.2-27.6	12.3-28.6
Bio2	10.0-19.0	10.3-19.9	10.2-20.0	10.3-20.03	10.4-20.6
Bio3	49-81	49-80	49-78	49-97	50-77
Bio4	4.3-60.9	4.8-62.3	5.3-64.2	5.5-64.5	6.2-65.2
Bio5	18.2-35.4	20.3-37.0	20.9-37.4	21.4-37.6	22.3-38.3
Bio6	-5.5-17.3	-3.8-18.8	-3.5-19.1	-3.9-19.0	-2.8-19.9
Bio7	13.9-34.9	14.2-37.1	14.2-37.6	14.2-38.1	14.3-37.9
Bio8	9.5-25.7	11.7-28.2	12.2-28.7	12.0-28.7	13.2-30.0
Bio9	8.0-25.8	9.7-27.5	10.2-27.9	10.2-27.9	11.1-28.1
Bio10	10.6-27.0	12.5-29.0	13.1-29.6	13.1-29.6	14.2-30.9
Bio11	3.5-24.5	5.5-26.1	5.9-26.3	5.8-26.2	6.9-27.1
Bio12	445-3546	437-3284	395-3418	408-3423	355-3289
Bio13	79-721	87-645	89-626	106-698	90-695
Bio14	1-77	1-59	1-59	1-66	1-51
Bio15	50-115	59-123	58-129	59-125	64-124
Bio16	195-1894	236-1730	216-1775	256-1810	223-1777
Bio17	8-254	7-215	6-204	7-206	6-178
Bio18	75-940	76-947	74-870	67-855	76-882

Bio19	16-339	15-375	18-444	16-589	14-332
--------------	--------	--------	--------	--------	--------

Anexo 7. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario actual en México.

Distribución estatal en el escenario actual						
Estados	<i>P. arizonica</i>	<i>P. pseudostrobus</i>	<i>P. teocote</i>	Desc.	<i>Barr.</i>	Defo.
Ags.	0.0	0.0	1189.9	1575.2	4042.2	1859.5
B.C.	230.1	0.0	0.0	7473.2	352.0	0.0
B.C.S.	5.3	0.0	102.5	465.6	0.0	4.7
Camp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chis.	0.0	1287.9	13487. 7	26161.8	25151.2	39861.7
Chih.	55170.1	0.0	48352. 6	71919.0	81861.6	51178.9
Coah.	1757.9	0.0	666.3	1238.5	3976.6	27.4
Col.	0.0	4.8	635.9	1622.8	1547.4	2463.2
D.F.	0.0	8.1	1380.6	1110.7	1486.5	1467.5

Dgo.	36944.5	0.0	49094. 0	49930.0	58053.2	44903.1
Gto.	0.0	115.5	9210.4	5160.0	13277.8	11899.2
Gro.	0.0	17.8	13327. 5	25440.6	25506.5	33056.3
Hgo.	0.0	2249.0	11539. 1	11903.7	13611.0	12827.0
Jal.	122.3	328.0	25921. 3	47136.6	37615.3	55616.2
Méx.	0.0	1872.7	17231. 3	18429.4	19690.0	20335.9
Mich.	0.0	1759.2	23285. 5	29907.7	30205.4	36459.6
Mor.	0.0	0.0	923.7	1444.9	1249.2	2482.4
Nay.	50.4	0.0	6814.2	14617.4	9021.2	12106.6
N.L.	695.4	709.2	5862.7	4875.9	9923.8	3196.3
Oax.	0.0	189.2	35846. 0	43193.4	44194.1	56255.1
Pue.	0.0	2027.5	13631. 4	15308.3	15711.9	19840.4
Qro.	0.0	320.0	4350.3	3344.7	4617.6	5095.5

Q.R.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.P.	0.0	39.0	2836.9	399.5	2614.0	2439.8
Sin.	456.1	0.0	1553.7	2012.9	1458.0	2332.5
Son.	3923.1	0.0	3334.5	12717.1	6954.6	595.7
Tab.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tams.	832.6	242.9	5607.9	1722.3	2491.6	2877.5
Tlax.	0.0	5.2	3823.2	3875.2	3957.0	3894.6
Ver.	0.0	900.0	5830.0	5180.1	5182.5	7816.3
Yuc.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zac.	4634.7	0.0	11844. 4	22124.1	33104.7	12337.6

Anexo 8. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2050_rcp45 en México.

Distribución estatal en el año 2050 escenario rcp45						
Estados	<i>P.</i> <i>arizonica</i>	<i>P.</i> <i>pseudostrobus</i>	<i>P.</i> <i>teocote</i>	Desc.	<i>Barr.</i>	Defo.
Ags.	0.0	683.9	309.6	717.9	878.7	1035.3

B.C.	73.2	0.0	0.7	3535.2	0.0	0.0
B.C.S.	0.0	0.0	184.1	164.7	171.7	0.0
Camp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chis.	0.0	13663.8	7550.6	16973.6	13137.4	20384.1
Chih.	26233.3	6293.8	24343. 7	34362.6	52201.4	25730.1
Coah.	447.0	646.7	737.0	597.8	1223.3	173.4
Col.	0.0	291.3	234.2	908.3	678.9	961.4
D.F.	0.0	1006.7	877.8	748.1	955.3	1123.6
Dgo.	27980.6	32153.6	40961. 1	39135.9	40625.0	39324.8
Gto.	0.0	3782.6	3769.0	953.6	2459.1	5165.3
Gro.	0.0	12306.2	7300.4	17757.0	17190.7	23702.8
Hgo.	0.0	9494.0	5779.2	7148.9	7927.0	10049.7
Jal.	0.0	16278.2	10543. 0	22287.0	13858.3	25686.2
Méx.	0.0	16034.9	13539. 2	14660.2	15654.2	17645.2
Mich.	0.0	20854.6	15173.	19625.1	19020.9	27114.4

			2			
Mor.	0.0	848.2	544.5	821.7	721.5	1403.5
Nay.	0.0	3748.9	3273.8	7453.9	2609.5	7022.7
N.L.	96.2	4691.3	4017.2	2253.7	3190.2	2927.0
Oax.	0.0	34152.1	22556. 4	35212.1	30969.4	46145.7
Pue.	0.0	11688.7	8277.7	10130.9	9630.4	14364.0
Qro.	0.0	2626.6	2183.9	1439.2	1614.1	3191.1
Q.R.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.P.	0.0	344.9	143.7	136.5	203.8	535.8
Sin.	187.8	832.3	830.0	1020.0	683.0	1337.2
Son.	407.2	0.0	0.0	2678.3	889.5	5.8
Tab.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tams.	38.8	1595.4	2072.6	587.9	531.8	1266.0
Tlax.	0.0	3335.3	1917.2	2336.2	3730.1	3215.7
Ver.	0.0	6801.6	3741.8	4462.7	2995.8	6589.4
Yuc.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zac.	26.3	1043.4	1942.3	7397.2	9666.8	3161.4

Anexo 9. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2050_rcp85 en México.

Distribución estatal en el año 2050 escenario rcp85						
Estados	<i>P.</i> <i>arizonica</i>	<i>P.</i> <i>pseudostrobus</i>	<i>P.</i> <i>teocote</i>	Desc.	<i>Barr.</i>	Defo.
Ags.	0.0	379.6	144.7	625.5	612.3	948.8
B.C.	79.9	0.0	0.0	2593.5	0.0	0.0
B.C.S.	0.0	0.0	112.7	76.1	158.5	0.0
Camp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chis.	0.0	11073.1	6692.4	15554.6	11931.5	17895.3
Chih.	16766.0	4660.4	18609.2	27850.4	40681.0	16466.3
Coah.	338.6	456.3	446.1	459.0	922.0	121.1
Col.	0.0	243.5	195.4	834.5	593.7	770.3
D.F.	0.0	1031.0	939.4	752.8	915.3	1175.2
Dgo.	25110.9	30316.7	39781.9	37436.8	37800.2	37809.1
Gto.	0.0	2654.0	2750.3	443.1	1717.4	3990.3
Gro.	0.0	11001.9	6146.2	17492.6	16037.8	22540.3
Hgo.	0.0	9000.7	5683.5	5663.2	7376.2	8631.5

Jal.	0.0	13804.6	8946.2	22304.6	12199.7	20991.0
Méx.	0.0	15880.9	13375.3	14237.2	15296.8	17506.0
Mich.	0.0	18812.1	12163.5	18480.6	17060.9	25038.5
Mor.	0.0	790.3	514.8	788.1	685.5	1357.8
Nay.	0.0	2626.8	3010.0	6876.7	1937.5	6078.0
N.L.	76.9	3516.0	2825.2	1636.7	2489.0	2066.7
Oax.	0.0	31000.4	19718.4	31913.4	26702.6	42439.8
Pue.	0.0	11082.1	7863.6	9113.8	9023.0	12722.2
Qro.	0.0	2345.8	1879.6	1382.1	1449.2	2822.6
Q.R.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.P.	0.0	0.0	83.5	95.3	111.5	336.6
Sin.	140.4	180.7	693.1	830.4	591.8	1187.3
Son.	98.2	716.1	76.9	1432.0	338.0	0.0
Tab.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tams.	0.0	1259.6	1707.0	413.1	472.3	1002.9
Tlax.	0.0	3420.5	2218.1	1967.2	3838.1	3040.7
Ver.	0.0	6050.2	3254.6	3788.4	2803.6	5876.7

Yuc.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zac.	0.0	546.8	1904.6	6996.0	6010.2	2041.7

Anexo 10. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2070_rcp45 en México.

Distribución estatal en el año 2070 escenario rcp45						
Estados	<i>P.</i> <i>arizonica</i>	<i>P.</i> <i>pseudostrobus</i>	<i>P.</i> <i>teocote</i>	Desc.	<i>Barr.</i>	Defo.
Ags.	0.0	683.9	62.5	601.2	721.0	824.0
B.C.	57.7	0.0	0.0	2385.5	0.0	0.0
B.C.S.	0.0	0.0	201.3	108.0	150.0	0.0
Camp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chis.	0.0	13663.8	6521.2	14893.8	10737.5	17746.6
Chih.	15628.4	6293.8	17877.3	27166.1	41276.4	17912.3
Coah.	392.1	646.7	803.3	532.4	1060.0	469.2
Col.	0.0	291.3	193.4	977.5	703.3	811.6
D.F.	0.0	1006.7	804.9	754.0	847.1	1151.7

Dgo.	23143.7	32153.6	38710.1	37094.0	36831.8	35979.2
Gto.	0.0	3782.6	1718.1	824.5	2360.2	5013.8
Gro.	0.0	12306.2	6169.3	19197.0	16463.3	22849.9
Hgo.	0.0	9494.0	4634.6	6130.4	6419.4	9496.9
Jal.	0.0	16278.2	7236.3	21315.8	11994.1	20276.1
Méx.	0.0	16034.9	12555.5	14647.9	14333.0	17245.3
Mich.	0.0	20854.6	10996.7	19863.6	17737.4	25346.0
Mor.	0.0	848.2	494.9	846.2	628.1	1346.0
Nay.	0.0	3748.9	2646.1	6913.6	2013.1	6339.3
N.L.	217.5	4691.3	4021.4	2208.8	2771.9	4533.4
Oax.	0.0	34152.1	19715.9	34442.3	26886.3	43195.8
Pue.	0.0	11688.7	7093.1	10074.3	8141.3	13484.4
Qro.	0.0	2626.6	1715.4	1548.9	1512.7	3103.1
Q.R.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.P.	0.0	344.9	70.9	126.4	98.7	607.4
Sin.	115.3	832.3	738.5	1006.7	519.8	1161.8
Son.	165.7	0.0	72.2	1984.1	529.1	0.0

Tab.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tams.	85.2	1595.4	1755.6	587.2	518.4	1668.1
Tlax.	0.0	3335.3	1757.6	1999.1	3513.3	3142.5
Ver.	0.0	6801.6	3234.0	4332.6	2586.5	7013.9
Yuc.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zac.	0.0	1043.4	1361.4	5619.2	6699.9	1036.4

Anexo 11. Distribución potencial de especies de pino y plagas escenario 2070_rcp85 en México.

Distribución estatal en el año 2070 escenario rcp85						
Estados	<i>P.</i> <i>arizonica</i>	<i>P.</i> <i>pseudostrobus</i>	<i>P.</i> <i>teocote</i>	Desc.	<i>Barr.</i>	Defo.
Ags.	0.0	379.6	0.0	5.9	140.4	83.7
B.C.	68.1	0.0	0.0	1260.5	0.0	0.0
B.C.S.	0.0	0.0	65.3	28.7	72.2	0.0
Camp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chis.	0.0	11073.1	4434.3	12650.7	8076.2	14513.1

Chih.	5999.1	4660.4	9147.9	10564.4	21210.2	10599.5
Coah.	86.6	456.3	493.5	252.1	592.0	303.6
Col.	0.0	243.5	124.8	298.8	326.8	343.6
D.F.	0.0	1031.0	760.5	694.6	762.3	1101.4
Dgo.	17756.4	30316.7	35315.7	31919.0	31428.3	32268.9
Gto.	0.0	2654.0	1603.0	240.6	599.0	3388.9
Gro.	0.0	11001.9	4248.6	12690.8	11941.7	16637.4
Hgo.	0.0	9000.7	4218.5	4601.9	4244.6	8918.9
Jal.	0.0	13804.6	4699.1	10846.6	6588.2	13812.8
Méx.	0.0	15880.9	11765.9	12588.1	12162.5	16574.2
Mich.	0.0	18812.1	9545.3	13625.9	11658.3	21200.0
Mor.	0.0	790.3	394.9	611.6	425.0	1001.0
Nay.	0.0	2626.8	1598.8	3277.7	1017.0	3405.1
N.L.	30.0	3516.0	2586.4	955.5	1519.5	3536.8
Oax.	0.0	31000.4	14228.6	24586.2	17900.3	34830.9
Pue.	0.0	11082.1	5977.1	7275.4	6446.7	11552.9
Qro.	0.0	2345.8	1120.4	916.4	706.0	2912.8

Q.R.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.P.	0.0	180.7	38.5	120.0	19.2	361.3
Sin.	58.0	716.1	577.3	706.0	388.5	879.7
Son.	8.5	0.0	0.0	142.5	63.3	0.0
Tab.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tams.	7.4	1259.6	890.2	303.4	297.5	1132.1
Tlax.	0.0	3420.5	1523.6	843.7	2456.0	2603.1
Ver.	0.0	6050.2	2840.8	3480.1	2253.7	5984.8
Yuc.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zac.	0.0	546.8	571.9	758.8	1648.1	220.5
