

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* ((Motschulsky)) en el territorio mexicano”

“Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Informe Final para *Sirex noctilio* Fabricius

Elaborado por:

M. en C. Diego David Reygadas Prado

09 mayo de 2017

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	5
2. CARACTERIZACIÓN DE <i>Sirex noctilio</i> Fabricius	6
2.1. Morfología	8
2.2. Biología y ecología	11
2.3. Síntomas	13
2.4. Hospederos	15
3. VARIABLES AMBIENTALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE <i>Sirex noctilio</i> Fabricius	16
4. VÍAS Y MEDIOS DE INTRODUCCIÓN DE <i>Sirex noctilio</i> Fabricius	22
4.1. Datos sobre la importación a México de madera aserrada	23
5. POTENCIAL PARA PRODUCIR DAÑOS ECONÓMICOS	31
5.1. Opciones de prevención	32
5.2. Opciones de control	32
5.2.1. Control químico	32
5.2.2. Control Biológico	32
6. METODOLOGÍA PARA DEFINIR LOS FACTORES QUE GENERAN RIESGO, VULNERABILIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD DE LOS HOSPEDEROS	33
6.1. <i>Pinus radiata</i> Don.	34
6.2. <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	35
6.3. <i>Pinus jeffreyi</i> Grev. & Balf.	36
6.4. <i>Pinus ponderosa</i> Dougl.	36
6.5. <i>Pinus halepensis</i> Miller.....	37
6.6. <i>Pinus caribaea</i> (Sénéclauze) Barret y Golfari.	38
6.7. <i>Abies concolor</i> (Gordon & Glend.) Lindl.....	38
6.8. <i>Abies religiosa</i> (Kunth Schltdl. et Cham.)	39
6.9. <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb	40
7. MODELOS DE PREDICCIÓN NACIONAL.....	43

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

7.1. Escala de riesgo	43
7.2. Modelos.....	44
7.2.1. Modelo multicriterio para mapeo de riesgo de plagas forestales (Krist,et al., 2007) basado en Model Builder	45
7.2.2. Modelo para predicción de nicho ecológico basado en el enfoque de Máxima Entropía (MaxEnt)	46
7.3. Mapas.....	48
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
10. BIBLIOGRAFÍA	75
11. ANEXOS	81
11.1 Anexo 1 (cartografía).....	81
11.2 Anexo 2 (modelos)	81
11.3 Anexo 3 (mapas).....	81

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESPECIES DE HOSPEDEROS DETERMINADAS PARA EL MODELADO DE RIESGO, SIREX NOCTILIO.....	16
TABLA 2. RANGOS DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y ALTITUD PARA CLIMAS TEMPLADOS DE MÉXICO	20
TABLA 3. RANGOS DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y ALTITUD PARA EL CONJUNTO DE HOSPEDEROS SELECCIONADOS.	21
TABLA 4. IMPORTACIONES TOTALES DEL 2006 AL 2015 POR VOLUMEN EXPRESADO EN M3 PARA LA FRACCIÓN ARANCELARIA 4407.10.01	24
TABLA 5. VOLUMEN DE LOS TRES PAÍSES CON MAYORES IMPORTACIONES	25
TABLA 6. VOLUMEN DE MADERA ASERRADA NO ESTUFADA (2010-2015) POR INSPECTORÍA.....	27
TABLA 7. CANTIDAD DE TARIMAS Y EMBALAJES (2010-2015) POR INSPECTORÍA	29
TABLA 8. DETECCIONES DE SIREX SPP EN ADUANAS DE MÉXICO	30
TABLA 9. RESUMEN DE REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA HOSPEDEROS DE SIREX NOCTILIO.....	41
TABLA 10. ESCALA CUALITATIVA EMPLEADA CON EL MODELO MULTICRITERIO	43
TABLA 11. CATEGORÍAS PARA IDONEIDAD DE HÁBITAT CON MAXENT	44
TABLA 12. VARIABLES AMBIENTALES UTILIZADAS PARA EL MODELADO CON MAXENT	47
TABLA 13. CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES AL MODELADO CON MAXENT.....	70
TABLA 14. VALORES DE LA CURVA ROC OBTENIDOS EN LOS MODELOS CON MAXENT	71
TABLA 15. SUPERFICIE POR NIVEL DE RIESGO ESTIMADA PARA LOS HOSPEDEROS DE SIREX NOCTILIO	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE SIREX NOCTILIO FABRICIUS A NIVEL MUNDIAL. TOMADO DE HTTP://WWW.CABI.ORG/ISC/DATASHEET/50192	7
FIGURA 2. HEMBRA DE SIREX NOCTILIO (IZQ.) Y MACHO DE SIREX NOCTILIO (DER.). TOMADO DE ROJAS & GALLARDO, 2005.....	8
FIGURA 3. DIMENSIONES DE HUEVO (IZQ.) Y OVIPOSTURA (DER.) DE SIREX NOCTILIO. TOMADO DE ROJAS & GALLARDO, 2005. ..	9
FIGURA 4. LARVA DE SIREX NOCTILIO. TOMADO DE HAUGEN & HOEBEKE, 2005.	10
FIGURA 5. PILOSIDAD SUPRA-ANAL (IZQ.) Y ANTENA DE LARVA (DER.) DE SIREX NOCTILIO. TOMADO DE ROJAS & GALLARDO, 2005.	10
FIGURA 6. PUPA MACHO DE SIREX NOCTILIO. TOMADO DE ROJAS & GALLARDO, 2005.	11
FIGURA 7. ORIFICIOS GENERADOS POR SIREX NOCTILIO. TOMADO DE ROJAS & GALLARDO, 2005.....	12
FIGURA 8. CICLO BIOLÓGICO DE SIREX NOCTILIO OBSERVADO AL SURESTE DE AUSTRALIA. TOMADO DE AGUILAR & LANFRANCO, 1988.	13
FIGURA 9. FLUJOS DE RESINA EN ARBOLADO PLAGADO POR SIREX NOCTILIO.	14
FIGURA 10. ORIFICIOS PRODUCTO DE LA EMERGENCIA DE ADULTOS DE SIREX NOCTILIO.	14
FIGURA 11. CLIMAS DEL MUNDO Y SU ASOCIACIÓN CON REPORTES DE PRESENCIA DE SIREX NOCTILIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN WWW.CABI.ORG/ISC/DATASHEET/S0192 Y SAGARPA-SENASICA, 2011.	17
FIGURA 12. CLIMAS DE MÉXICO. TOMADO DE WWW.INEGI.ORG.MX	18
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN DE CONÍFERAS EN MÉXICO	19

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

FIGURA 14. CLIMAS DE MÉXICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN COBERTURA DIGITAL OBTENIDA EN HTTP://WWW.CONABIO.GOB.MX/INFORMACION/GIS/	20
FIGURA 15. VOLÚMENES TOTALES DE MADERA ASERRADA. FRACCIÓN ARANCELARIA 4407.10.01. FUENTE: SECRETARIA DE ECONOMÍA CON BASE EN SAT, SE, BANXICO, INEGI. BALANZA COMERCIAL DE MERCANCÍAS DE MÉXICO 2003 - 2015. SNIEG	24
FIGURA 16. VOLÚMENES IMPORTADOS POR EUA, CANADÁ Y CHILE. FRACCIÓN ARANCELARIA 4407.10.01. FUENTE: SECRETARIA DE ECONOMÍA CON BASE EN SAT, SE, BANXICO, INEGI. BALANZA COMERCIAL DE MERCANCÍAS DE MÉXICO 2003 - 2015. SNIEG.	26
FIGURA 17. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL POR GRUPO DE ESPECIES. FUENTE: SECRETARIA DE ECONOMÍA CON BASE EN SAT, SE, BANXICO, INEGI. BALANZA COMERCIAL DE MERCANCÍAS DE MÉXICO 2003 - 2015. SNIEG	27
FIGURA 18. MODELO GENERAL PARA LA OBTENCIÓN DE MAPAS DE RIESGO, MODEL BUILDER.....	45
FIGURA 19. MAPA DE RIESGO PARA ABIES CONCOLOR (MODEL BUILDER)	50
FIGURA 20. MAPA DE RIESGO PARA ABIES CONCOLOR (MAXENT)	51
FIGURA 21. MAPA DE RIESGO PARA ABIES RELIGIOSA (MODEL BUILDER)	52
FIGURA 22. MAPA DE RIESGO PARA ABIES RELIGIOSA (MAXENT).....	53
FIGURA 23. MAPA DE RIESGO PARA PINUS CARIBAEA (MODEL BUILDER)	54
FIGURA 24. MAPA DE RIESGO PARA PINUS CARIBAEA (MAXENT).....	55
FIGURA 25. MAPA DE RIESGO PARA PINUS HALEPENSIS (MODEL BUILDER).....	56
FIGURA 26. MAPA DE RIESGO PARA PINUS HALEPENSIS (MAXENT)	57
FIGURA 27. MAPA DE RIESGO PARA PINUS JEFFREYI (MODEL BUILDER)	58
FIGURA 28. MAPA DE RIESGO PARA PINUS JEFFREYI (MAXENT).....	59
FIGURA 29. MAPA DE RIESGO PARA PINUS PATULA (MODEL BUILDER)	60
FIGURA 30. MAPA DE RIESGO PARA PINUS PATULA (MAXENT)	61
FIGURA 31. MAPA DE RIESGO PARA PINUS PONDEROSA (MODEL BUILDER)	62
FIGURA 32. MAPA DE RIESGO PARA PINUS PONDEROSA (MODEL BUILDER)	63
FIGURA 34. MAPA DE RIESGO PARA PINUS RADIATA (MAXENT)	65
FIGURA 35. MAPA DE RIESGO PARA PSEUDOTSUGA MENZIESII (MODEL BUILDER).....	66
FIGURA 36. MAPA DE RIESGO PARA PSEUDOTSUGA MENZIESII (MAXENT)	67
FIGURA 37. MAPA DE RIESGO PARA SIREX NOCTILIO (MODEL BUILDER)	68

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras:

Corresponde a: 1.3 Vías de introducción y dispersión identificadas y vigiladas para las especies invasoras de mayor riesgo. Predecir la dispersión e infestaciones potenciales. Desarrollar análisis de riesgo de vías de introducción y diseminación de especies invasoras.

Los resultados de este informe final se vinculan con el objetivo estratégico para prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras, que forma parte de las acciones estratégicas transversales “Revisar, adecuar y desarrollar el marco legal y normativo” y “Desarrollar capacidades científicas, técnicas, humanas e institucionales”.

Resumen

Título:

Servicios de consultoría para integrar dos Modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano.

Proyecto “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional sobre EEI”

Objetivo:

Contar con dos modelos de predicción de riesgo de introducción de las plagas exóticas forestales, uno para *Sirex noctilio* y otro para *Anoplophora glabripennis* expresado en escala cualitativa (Muy Alto, Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo y Nulo), así como los posibles medios de introducción de ambas especies al territorio nacional.

Autor:

Diego David Reygadas Prado.

Modo de citar el informe:

PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo). 2016. Servicios de consultoría para integrar dos Modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano. Informe final entregado a la CONABIO y al PNUD en el marco del proyecto GEF 083999 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional sobre EEI”. Reygadas-Prado, D. México. 82 pp. + 3 Anexos.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Área objeto del informe:

Territorio nacional

Fecha de inicio y terminación del informe:

Inicio: 20 de marzo de 2016

Termino: 15 de mayo de 2017

Este Informe final presenta los resultados correspondientes con los términos de referencia establecidos para el proyecto, cuyos productos son: a) Caracterización de *Sirex noctilio* Fabricius b) Variables ambientales para el establecimiento de *Sirex noctilio* Fabricius c) Vías y medios de introducción de *Sirex noctilio* Fabricius d) Metodología para definir los factores que generan riesgo, vulnerabilidad y susceptibilidad de los hospedantes e) Modelos de predicción nacional f) Análisis de resultados y g) Resultados y recomendaciones.

2. CARACTERIZACIÓN DE *Sirex noctilio* Fabricius

Acorde como se plantea en los Términos de Referencia se efectuó la revisión bibliográfica y entrevistas con personal especializado de la SEMARNAT, Universidad Autónoma de Chapingo y del Colegio de Postgraduados integrándose la información para *Sirex noctilio* Fabricius que se presenta a continuación:

Taxonomía

Orden: Hymenoptera

Familia: Siricidae

Género: *Sirex*

Especie: *Sirex noctilio* Fabricius

Sirex noctilio, conocida como “La avispa barrenadora de los pinos” es un insecto originario de Eurasia que ha invadido en forma exitosa varias regiones forestales del mundo. Su amplio rango de distribución y su alta capacidad de daño, hacen que se posicione en la actualidad como una de las principales plagas de bosques naturales y cultivados para diversas especies del género *Pinus* (Figura 1).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

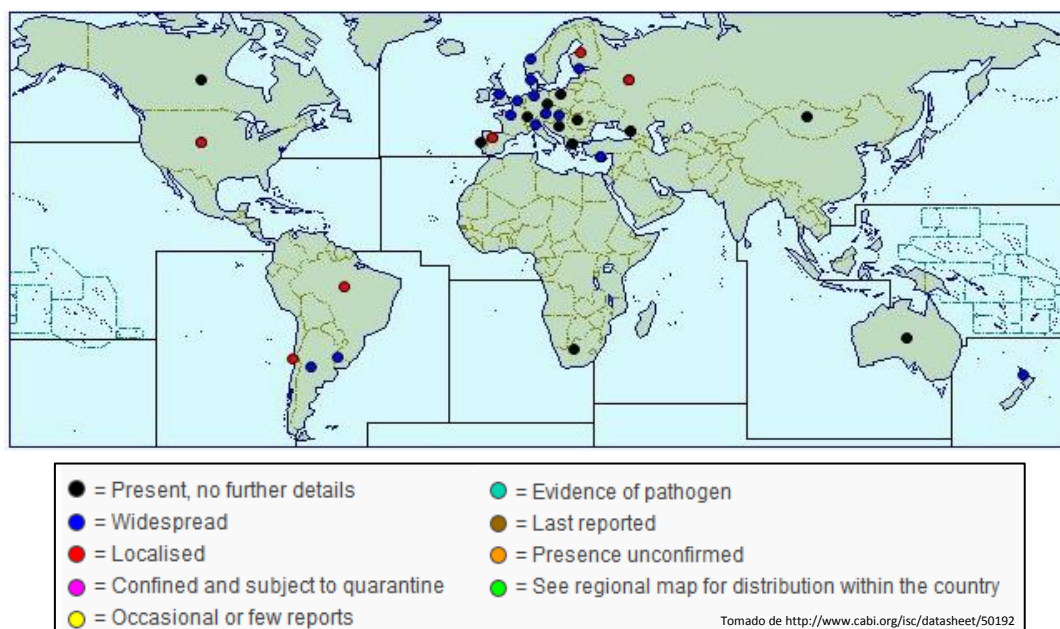


Figura 1. Distribución de *Sirex noctilio* Fabricius a nivel mundial. Tomado de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/50192>

La reciente detección y establecimiento de *Sirex noctilio* en los bosques nativos de pinos de América del Norte (Canadá y Estados Unidos), determina una importancia significativa para México, en aspectos relacionados con la conservación de nuestro recurso forestal.

Las poblaciones de *Sirex noctilio* poseen una particular dinámica espacio-temporal, debido a que por largos períodos de tiempo (2 a 3 años), el nivel poblacional de la plaga permanece en densidades endémicas (de baja incidencia), en donde el daño sobre el bosque es mínimo. No obstante, la peligrosidad de la especie aparece cuando las poblaciones alcanzan niveles epidémicos (alta incidencia), causando en poco tiempo daños muy severos de hasta un 70% de organismos en una superficie determinada. Este comportamiento ciertamente impredecible de la plaga, ha permitido clasificar su dinámica poblacional como de “pulsos eruptivos” con duración variable de 1 a 10 años, para posteriormente llegar al máximo nivel de daño y declinar la población a niveles endémicos (Villacide y Corley, 2007).

El ataque de *Sirex noctilio* se produce principalmente sobre árboles debilitados o bajo estrés, donde el insecto inserta el ovipositor a nivel del cambium y junto con el huevo, la hembra deposita esporas del hongo simbiote *Amylostereum areolatum*, además de una secreción mucosa que produce el desecamiento del árbol. Lo anterior, genera las condiciones propicias para el desarrollo del hongo y la eclosión del huevo, cuyas larvas se alimentarán de sus hifas (Borchert *et al.*, 2007).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

El daño a nivel de árbol tiene tres componentes: pudrición blanca de la madera debido a la acción del hongo, marchitamiento de la copa producido por el mucus y galerías hechas por las larvas. Finalmente se produce la muerte del árbol y la degradación o pérdida de la mayor parte del volumen de madera aprovechable, generándose una importante pérdida ecológica y económica (Slippers *et al.*, 2012).

El ciclo biológico del insecto es generalmente de un año, sin embargo, puede variar de acuerdo a las condiciones climáticas. Cuando las condiciones son favorables para la plaga, altas temperaturas y déficit hídrico, se pueden producir generaciones con un ciclo de vida más corto (dos o tres meses). Por el contrario, cuando las condiciones son desfavorables, los huevos pueden permanecer en dormancia, generando ciclos de hasta dos o tres años (Slippers *et al.*, 2012; CONAF, 2016).

2.1. Morfología

Los adultos son de tamaño variable y pueden alcanzar de 2.4 a 3.8 cm de longitud, cuerpo cilíndrico y robusto, alas de color ámbar y abdomen con una espina terminal, el cuerpo de la hembra generalmente es de mayor tamaño que el del macho (Figura 2), de coloración azul oscura metálica y patas rojizas. Poseen antenas setáceas, levemente pubescentes de 20 segmentos y un ovipositor notorio en cuya base lleva un par de órganos (micangios) que contienen al hongo basidiomiceto simbiote obligado: *A. areolatum*. Cerca de estos órganos se encuentran un par de glándulas productoras de un mucus fitotóxico. Tanto las esporas del hongo como el mucus son expulsados a través del ovipositor al momento en que el insecto taladra la madera, ya sea para ovipositar o verificar la susceptibilidad del árbol (Slippers *et al.*, 2012).

El macho es de coloración azul oscura metálica (Figura 2), exceptuando los segmentos abdominales III al VII, que son café-amarillento; las patas son rojizas, excepto las posteriores que son negras. Las antenas, similares a las de la hembra, tienen 21 segmentos (Slippers *et al.*, 2012).



Figura 2. Hembra de *Sirex noctilio* (Izq.) y macho de *Sirex noctilio* (Der.). Tomado de Rojas & Gallardo, 2005.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Generalmente las hembras ovipositan en orificios aislados en árboles sanos y dominantes que rechazan la avispa para ovipositar, pero perfora orificios simples donde deposita las esporas del hongo *Amylostereum areolatum* y un mucus fitotóxico, que puede interrumpir el funcionamiento de la fotosíntesis y la respiración debilitando el árbol y haciéndolo susceptible a futuras infestaciones de *Sirex noctilio* (Borchert *et al.*, 2007).

En árboles estresados, la avispa perfora orificios dobles con huevos en el primer orificio y hongo y mucus en el segundo. En el caso de árboles muy debilitados las hembras realizan múltiples orificios para ovipositar huevos, hongo y mucus (Borchert *et al.*, 2007).

Los huevos de *Sirex noctilio* miden 1.4 a 1.6 mm de largo por 0.3 mm de ancho, tienen forma elipsoide, de color blanco y superficie lisa (Figura 3). Estos son incubados por un período de 9 a 14 días (Aguilar & Lanfranco, 1988).



Figura 3. Dimensiones de huevo (Izq.) y ovipostura (Der.) de *Sirex noctilio*. Tomado de Rojas & Gallardo, 2005.

Esta fase es factible encontrarla en Australia desde mediados de diciembre y hasta finales de abril. Sin embargo, Aguilar & Lanfranco (1988), señalan que, en virtud de la similitud climática entre Australia y parte de Chile, se espera tenga un comportamiento similar.

Las larvas de *Sirex noctilio*, al igual que las de otras especies de la familia Siricidae, son cilíndricas de color blanco cremoso, tienen tres pares de patas torácicas vestigiales, mandíbulas dentadas fuertemente pigmentadas y una espina supra anal pigmentada llamada también post-cornus que mantienen durante todo su desarrollo larval (Morgan, 1968). Su tamaño es variable, alcanzando al final de su último estadio larval aproximadamente 3 cm de longitud (Figura 4). La presencia de tres segmentos antenales (Figura 5) permiten distinguir estas larvas de *Sirex* de las larvas de *Urocera*, donde las cerdas son más gruesas y ralas, generalmente menos de siete, en dicha área (Rojas & Gallardo, 2005).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”



Figura 4. Larva de *Sirex noctilio*. Tomado de Haugen & Hoebeke, 2005.

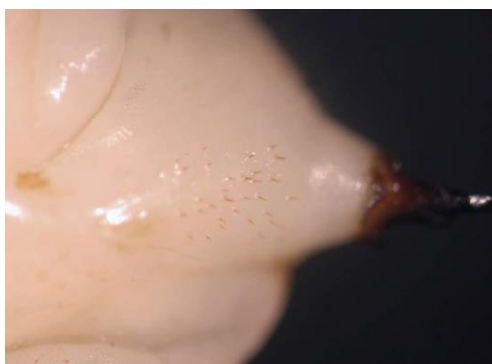


Figura 5. Pilosidad supra-anal (Izq.) y Antena de larva (Der.) de *Sirex noctilio*. Tomado de Rojas & Gallardo, 2005.

Todos los instares larvales se alimentan del hongo, infectando la madera que es masticada para poder cavar los túneles. La longitud de los túneles varía de 5 a 20 cm dependiendo del tamaño de la larva y del contenido de la humedad de la madera. El número de instares de la larva varía de 6 a 12 y toman de 10 a 12 meses en pupar. Larvas maduras pupan cerca a la corteza superficial y los adultos emergen cerca de 3 semanas después (ICA, 2011).

Las prepupas y pupas son de coloración blanca marfil, y gradualmente van adquiriendo la coloración del adulto. La longitud promedio es de 25 mm. Habitualmente construyen una cámara pupal a 5 centímetros de la superficie exterior del fuste del árbol. En condiciones normales esta fase puede durar tres semanas y se encuentra presente desde mediados de noviembre y hasta comienzos de abril (Aguilar & Lanfranco 1988).

Las pupas de la familia Siricidae son exaratas, con apéndices libres, de color blanco cremoso y apariencia similar a los adultos (Figura 6). El reconocimiento del sexo es fácilmente realizado debido a que en las hembras se observa claramente la forma del ovipositor y el cuerno posterior al ano de forma triangular, diferente a las hembras de *Urocetus*, en cuyo caso el cuerno posterior al ano es más alargado y presenta un estrangulamiento en la zona media. Los machos son distinguibles tanto por la ausencia de ovipositor como por el engrosamiento de las patas

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

posteriores, especialmente en la proporción largo/ancho máximo de los basitarsos (Rojas & Gallardo, 2005).



Figura 6. Pupa macho de *Sirex noctilio*. Tomado de Rojas & Gallardo, 2005.

2.2. Biología y ecología

El período de emergencia de los adultos comienza a principios de diciembre hasta finales de abril, el cual correspondiente al periodo verano – otoño para Suramérica (Aguilar & Lanfranco 1988). Por lo que respecta al periodo de emergencia en Norteamérica, la temporalidad es semejante en cuanto a las estaciones del año (Madden, 1988, citado por Borchert *et al.*, 2007), por lo que el ciclo presentará su inicio en el mes de junio y concluirá en el mes de diciembre.

Después de la emergencia se inicia un corto período de vuelo con fines de apareamiento y dispersión. El vuelo del macho adulto es vigoroso y de corta duración, alcanzando sólo unos pocos kilómetros al año y son sexualmente maduros al momento de emerger. Debido tal vez al hecho de que el período de vida de la hembra no excede de cinco días, y el de los machos de 12 días los huevos aparecen, en el caso del hemisferio sur, a mediados de diciembre, solo 15 días después de la emergencia de los adultos, por lo que los adultos continúan emergiendo durante el verano y otoño, situación que se mantiene en el caso de las mismas estaciones en el hemisferio norte. Los adultos no se alimentan y sólo dependen de las reservas energéticas acumuladas en su fase larvaria (Aguilar & Lanfranco, 1988).

Como parte de su estrategia de desarrollo las hembras de *Sirex noctilio* seleccionan aquellos árboles que presentan un bajo vigor, para lo cual taladran con el ovipositor varias veces al hospedero, previo a la postura de los huevos, asegurando así que el árbol será colonizado por las larvas. La oviposición puede ocurrir con o sin apareamiento y el sexo de la progenie estará determinado por la fertilización de los huevos. Así la hembra virgen puede ovipositar y originar solamente una progenie de machos, en tanto una hembra fecundada puede producir machos y

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

hembras. El número de huevos varía de acuerdo con el tamaño y longevidad del insecto y fluctúa entre 50 y 500 huevos por hembra (Aguilar & Lanfranco, 1988).

Las hembras son sexualmente maduras después de la emergencia, los machos aparecen primeros y en mayor número que las hembras. Los machos vuelan encima y alrededor de la copa de los árboles en días soleados y pueden formar enjambres cuando se presentan en número suficiente. Las hembras de *Sirex noctilio* tienen un vuelo inicial de 100 metros o más después de la emergencia, luego se mueven hacia los troncos de los árboles para insertar su ovipositor. En general prefieren árboles estresados que pueden ser el resultado de sequías, deficiencias nutricionales, selección de lugares inadecuados, daños ocasionados por tormentas, así como aquellos que han sido afectados por otros organismos (Neumann, 1987, citado por ICA, 2011).

Árboles con presiones osmóticas altas (16 atm) son árboles sanos y dominantes que rechaza la avispa para ovipositar, pero perfora orificios simples donde deposita las esporas del hongo *Amylostereum areolatum* y un mucus fitotóxico, que puede interrumpir el funcionamiento de la fotosíntesis y la respiración, debilitando el árbol y haciéndolo susceptible a futuras infestaciones de *Sirex noctilio* (ICA, 2011).

Para ver los orificios de ovipostura (Figura 7), se debe remover la corteza hasta la albura. Si ha ocurrido el ataque de *Sirex noctilio*, el cambium muestra una tinción ovalada oscura con uno o varios orificios de ovipostura en su centro. Cuando los pinchazos son recientes, producen decoloración alrededor de los orificios, en caso de pinchazos de mayor antigüedad, se observan áreas negruzcas alrededor de estos orificios debido al hongo asociado (Rojas & Gallardo 2005).



Figura 7. Orificios generados por *Sirex noctilio*. Tomado de Rojas & Gallardo, 2005.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Aproximadamente 75% de la población de *Sirex noctilio* completa su desarrollo en un año, en los países de origen de la plaga (Figura 8). El resto puede presentar un ciclo de dos años, o de hasta tres años, pero esos individuos aparentemente no sobreviven (COSAVE, 2002).

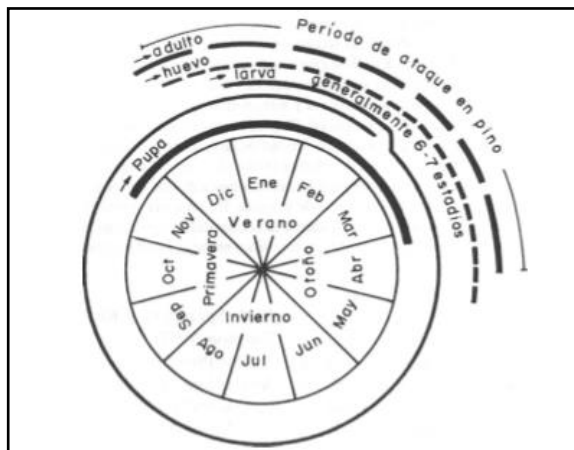


Figura 8. Ciclo biológico de *Sirex noctilio* observado al Sureste de Australia. Tomado de Aguilar & Lanfranco, 1988.

2.3. Síntomas

Los síntomas más importantes son la progresiva e irreversible clorosis en la corona que se vuelve rojiza, acompañada de un repentino marchitamiento y caída de hojas, lo que conduce finalmente a la muerte de las plantas.

Algunas veces se presentan pequeños flujos de resina sobre las cortezas de los tallos (Figura 9), producto de las perforaciones realizadas por la avispa durante la oviposición. También se pueden observar orificios circulares en el tronco de los árboles, producidos como consecuencia de la emergencia de los adultos (Figura 10). Cuando las infestaciones son muy altas es posible observar bandas angostas con manchas de color café que pertenecen a los signos del hongo *Amylostereum areolatum* (ICA, 2011).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”



Figura 9. Flujos de resina en arbolado plagado por *Sirex noctilio*.



Figura 10. Orificios producto de la emergencia de adultos de *Sirex noctilio*.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

2.4. Hospederos

Sirex noctilio es considerada una plaga secundaria en su rango nativo, donde afecta principalmente al género *Pinus*. Entre los hospederos se tienen las siguientes especies de pinos: *P. attenuata*, *P. banksiana*, *P. brutia*, *P. canariensis*, *P. caribaea*, *P. contorta*, *P. densiflora*, *P. echinata*, *P. elliotii*, *P. halepensis*, *P. jeffreyi*, *P. muricata*, *P. nigra austriaca*, *P. nigra calabrica*, *P. palustris*, *P. patula*, *P. pinaster*, *P. ponderosa*, *P. pinea*, *P. radiata*, *P. resinosa*, *P. strobus*, *P. sylvestris* y *P. taeda*. *Sirex noctilio* también ha sido reportada en otros géneros de coníferas como *Abies*, *Larix*, *Picea* y *Pseudotsuga*, sin embargo, estos reportes son aislados y de menor importancia (ICA, 2011).

A pesar de poder atacar otras especies de coníferas, en el 99% de los casos, los daños ocurren en especies de pinos. Esta es la única especie de sirícido europeo, capaz de atacar árboles vivos, conduciéndolos a su muerte (COSAVE, 2002).

De la lista de pinos anterior en México, de acuerdo con los datos del Inventario Nacional Forestal y de suelos 2016 (INFyS, 2016), están presentes *Pinus caribaea*, *P. halepensis*, *P. jeffreyi*, *P. patula*, *P. pinaster*, *P. ponderosa* y *P. radiata*. También el INFyS (2016) reporta la presencia de *Abies concolor*, *A. durangensis*, *A. guatemalensis*, *A. oaxacana*, *A. vejari*, *A. religiosa*, *Picea chihuahuana*, *Pseudotsuga macrolepis* y *Pseudotsuga menziesii*, situación que acorde a las 43 especies del género *Pinus*, siete de *Abies*, dos de *Picea* y una de *Pseudotsuga* que están presentes en México (Yañez, 2004) da una idea de la gran variedad de hospederos potenciales para *Sirex noctilio* en nuestro país.

En este sentido y de acuerdo con datos bibliográficos reportados para Estados Unidos *Sirex noctilio* ha afectado en un 99% al género *Pinus*, en un 0.8% a *Picea* y 0.05% en *Abies*, aspectos que aunados a la revisión bibliográfica indicada y a la consulta con especialistas de la Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Postgraduados, especialistas de la Red de Salud Forestal de México y de la información disponible en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos, se determinaron nueve especies como principales hospederos para *Sirex noctilio* en México, mismas que son mostradas en la Tabla 1.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Tabla 1. Especies de hospederos determinadas para el modelado de riesgo, *Sirex noctilio*.

Nivel de susceptibilidad	Hospedero	Estatus
Muy susceptibles	<i>Pinus radiata</i>	Protección especial
	<i>Pinus patula</i>	
	<i>Pinus jeffreyi</i>	
	<i>Pinus ponderosa</i>	
Poco susceptibles	<i>Pinus halepensis</i>	En peligro de extinción
	<i>Pinus caribaea</i>	
Ocasionales	<i>Abies concolor</i>	Protección especial
	<i>Abies religiosa</i>	Protección especial
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	

Cabe señalar que en la propuesta de trabajo se estableció determinar los cinco principales hospederos, pero dada la amplia posibilidad de hospederos que tienen estas plagas y a la también amplia distribución de los mismos en el territorio nacional de muchas de estas especies o a su posibilidad de convertirse en vectores de dispersión se determinaron las especies antes citadas.

3. VARIABLES AMBIENTALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE *Sirex noctilio* Fabricius

Como se ha mencionado *Sirex noctilio* es originario de Europa, Asia y el norte de África. Su distribución engloba países como Alemania, Argentina, Australia, Austria, Bélgica, Brasil, Canadá, Checoslovaquia, Chile, Chipre, Dinamarca, España, Estados Unidos, Estonia, Federación Rusa, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Mongolia, Noruega, Nueva Zelanda, Polonia, Portugal, Reino Unido, República de Georgia, Rumania, Serbia, Sudáfrica, Suiza, Uruguay y Yugoslavia (CABI, 2014).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

De acuerdo con la distribución geográfica de los países en los cuales se ha reportado la presencia de *Sirex noctilio*, éste se desarrolla en climas templados y fríos, donde se encuentran especies forestales de coníferas (Figura 11), atacando casi exclusivamente a pinos (Haugen and Hoebeke, 2005).

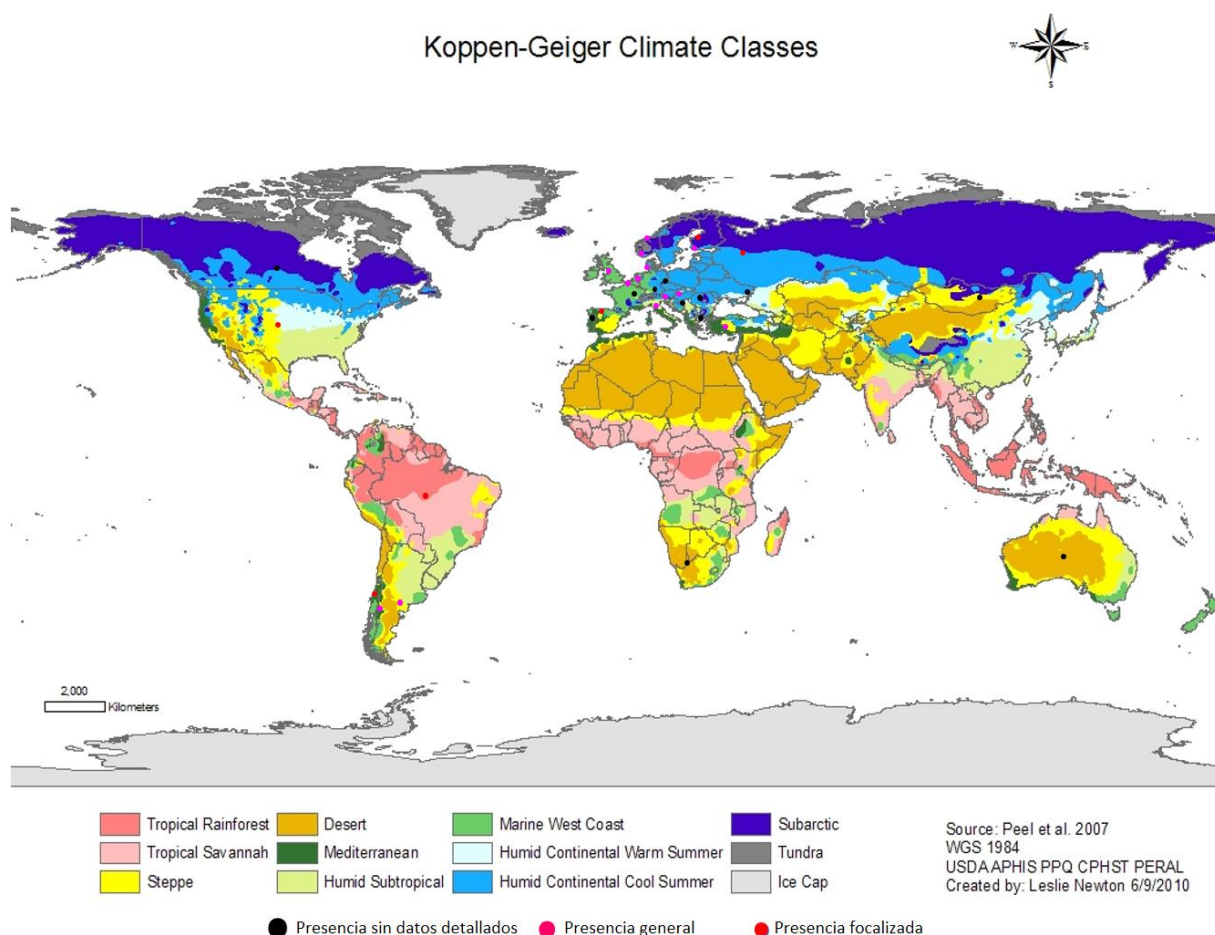


Figura 11. Climas del mundo y su asociación con reportes de presencia de *Sirex noctilio*. Fuente: Elaboración propia con base en www.cabi.org/isc/datasheet/s0192 y SAGARPA-SENASICA, 2011.

Si bien en México no se ha reportado la presencia de *Sirex noctilio*, existen a lo largo su territorio climas templados fríos en donde prosperan especies de coníferas que podrían ser hospedantes de *Sirex noctilio*. Tales climas se distribuyen principalmente en la parte Norte y Centro del país a lo largo de las principales Sierras (Figura 12).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"



Figura 12. Climas de México. Tomado de www.inegi.org.mx.

Acorde con los hospederos potenciales mencionados en el apartado anterior, se suma a los climas templados fríos, los climas templados húmedos y templado cálidos como zonas en las que podría prosperar *Sirex noctilio*, aumentando con esto la amplitud de rangos para las variables ambientales de precipitación y temperatura en los que puede desarrollarse *Sirex noctilio*.

Estos climas están estrechamente vinculados con el relieve y la confluencia de las zonas neártica y neotropical en territorio mexicano y que en combinación con el origen geológico generan una amplia gama de combinaciones de variables ambientales como los tipos de suelo, textura de los mismos, altitud, precipitación y temperatura entre otras, que permiten el desarrollo de una extensa superficie con cobertura de coníferas a las que puede asociarse el establecimiento de *Sirex noctilio* y por ende un amplio rango para estas variables en las que esta plaga puede prosperar.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

En este sentido, de acuerdo con información de la carta de uso de suelo y vegetación serie V del INEGI (2013), en México la superficie forestal cubierta por coníferas representa 13.5 millones de hectáreas del territorio nacional. De igual forma se puede observar que dicha distribución va desde el sur al suroeste de nuestro país y en algunos casos muy cercana a las costas. La mayor concentración de bosques de coníferas se encuentra en la Sierra Madre del Sur, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Occidental (Figura 13), lo que corrobora la amplitud de condiciones ambientales en las que podría establecerse *Sirex noctilio*.



Figura 13. Distribución de coníferas en México

Se considera que la temperatura no es un factor limitante para la dispersión de esta especie. No obstante, un modelo desarrollado en Estados Unidos toma como base la temperatura de 6.8 °C., otro modelo considera como umbral inferior 0 °C, un rango óptimo de 5 a 24 °C y un umbral superior de 30 °C. (Carnegie *et al.*, 2006).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

Dada la escasa información que se reporta de manera puntual sobre los rangos de temperatura, precipitación y altitud que favorecen el establecimiento de *Sirex noctilio*, se procedió a elaborar una intersección de información entre las áreas de clima templado obtenidas de la capa nacional digital de climas (Figura 14) y las capas de temperatura, precipitación y continuo de elevaciones generados como insumos para el modelado de riesgo de *Sirex noctilio*, obteniéndose los rangos que se muestran en la Tabla 2.



Figura 14. Climas de México. Fuente: Elaboración propia con base en cobertura digital obtenida en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Tabla 2. Rangos de temperatura, precipitación y altitud para climas templados de México

TEMPERATURA PROMEDIO(°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	ALTITUD
11-33	203-3802	656-3852

Estos datos fortalecen las aseveraciones vertidas en párrafos previos sobre la amplitud de las variables ambientales, esto es, condiciones en que se puede establecer la plaga en cuestión.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Complementariamente se obtuvieron los rangos de temperatura, precipitación y altitud en los que se desarrollan las especies que se consideraron como hospederos a fin de contar con un conjunto de valores adicionales en los que por asociación de la plaga de *Sirex noctilio* y dichos hospederos se prevé puedan ser condiciones propicias para el establecimiento de esta plaga, obteniéndose los rangos mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Rangos de temperatura, precipitación y altitud para el conjunto de hospederos seleccionados.

TEMPERATURA PROMEDIO(°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	ALTITUD
2-40	250-2500	0-3600

Como puede observarse, se ratifica el vasto espectro de posibilidades ambientales que, con base en los rangos de distribución de los hospederos, puede ser factible para el establecimiento de *Sirex noctilio*.

Por otra parte, de acuerdo con Goycoolea (2015) a continuación se indican algunas condiciones que favorecen el desarrollo de *Sirex noctilio*:

- Condiciones silvícolas (árboles debilitados), mencionado también por Slippers *et al.*, (2012).
- Competencia excesiva por alta densidad
- Raleos (aclareos) en primavera – verano (periodo de vuelo de *S. noctilio*)
- Cosechas cercanas a la plantación en primavera - verano
- Daño mecánico a árboles del rodal
- Rodales altamente afectados por *Dothistroma pini*
- Suelos con baja retención de agua (estrés hídrico), debido a texturas gruesas o medias con alta permeabilidad
- Árboles dañados por incendio
- Zona de establecimiento de la plantación
- Zonas con veranos secos (estrés hídrico), poca precipitación
- Cambios en el régimen hídrico (estrés hídrico)
- Falta de enemigos naturales
- Sin regulación del crecimiento poblacional de la plaga
- Aunado a lo anterior este mismo autor, establece los siguientes criterios para definir áreas de riesgo en las que puede establecerse *Sirex noctilio*.
- Edad: Los rodales 10-25 años son los más susceptibles
- Diámetro normal (DN): DN mínimo de daño 5 cm; DN más susceptibles 10 - 30 cm; DN máximo de daño sin límite.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

- Manejo: Alta Densidad > 1000 árboles/ha (árboles suprimidos); Podas, Raleos y Cosechas en épocas estivales
- Estrés hídrico: Zonas con déficit de precipitaciones en época estival, combinado con altas temperaturas y baja humedad relativa; Áreas con desequilibrios en la disponibilidad de agua del perfil del suelo.
- Índice de Sitio (IS) (indicador relacionado a la nutrición y su impacto en el vigor de los árboles): IS <22 m Riesgo, Alto; IS >22 y <26 m, Riesgo Medio; IS >26 m, Bajo Riesgo
- Rodales con árboles dañados por incendios
- Rodales cercanos a arribo y acopio de madera de embalaje (Puertos, Aeropuertos y Complejos Industriales)

4. VÍAS Y MEDIOS DE INTRODUCCIÓN DE *Sirex noctilio* Fabricius

Una de las principales vías de ingreso de las plagas a nivel mundial, son los embalajes, las tarimas de madera y la madera aserrada nueva sin ningún tratamiento fitosanitario y que es la base en muchos casos para la elaboración de las tarimas y embalajes. Estos generalmente son fabricados con madera de baja calidad, sin embargo, todas las maderas para embalaje deben ser sometidas a tratamiento fitosanitario de acuerdo a la Norma Internacional de Medidas Fitosanitarias emitida por la FAO NIMF n.º 15, denominada “Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional”. No obstante, lo anterior, el porcentaje de madera de embalaje que se revisa al ingresar a territorio mexicano es reducido, (del orden del 2% de acuerdo a datos de PROFEPA), constituyendo materiales propensos para la diseminación de plagas forestales.

En Suramérica *Sirex noctilio* fue introducida inadvertidamente convirtiéndose en una plaga de gran importancia en Argentina (Corrientes, Misiones, Patagonia), Brasil (Paraná, Minas Gerais, Rio Grande do Sul y Santa Catarina), Uruguay y Chile.

En Estados Unidos se han encontrado en Ohio, Pennsylvania, New York, Vermont, Connecticut y Michigan (USDA, 2016).

Sirex noctilio puede ser introducida en nuestro país por medio de importaciones de madera proveniente de lugares en los que se ha reportado la plaga, convirtiéndose en su principal forma de dispersión a largas distancias ya que se encuentra en la parte interna de la madera como por ejemplo materiales vivos, cortes, incluyendo plantas de viveros, así como madera en rollo sin tratar, madera aserrada tratada y no tratada, embalajes, leña, astillas de madera y troncos. Todos estos artículos pueden facilitar la introducción y dispersión de la plaga (ICA, 2011), ya que en ellas se puede presentar en cualquiera de sus fases de desarrollo, siendo más común su introducción en la fase larval la cual dura cerca de un año (COSAVE, 2002).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

La larva de *Sirex noctilio* puede sobrevivir y ser movilizada en materiales de madera. Esto indica que su introducción en puertos y fronteras es muy factible, debido a su difícil detección a simple vista (ICA, 2011). Además de eso, cuando en áreas próximas a puertos y fronteras están presentes plantíos, bosquetes o cortinas rompeviento de *Pinus* spp (COSAVE, 2002).

Dada la importancia que tiene el comercio internacional en la probable introducción de *Sirex noctilio* en México a continuación se presentan datos globales de las importaciones de madera.

Para poder acceder de una manera efectiva a la base de datos que nos permita conocer las estadísticas del comercio exterior de cualquier producto, es necesario entender la conformación de la nomenclatura arancelaria de cualquier mercancía que se pretenda ingresar a la dinámica del intercambio comercial, la nomenclatura para el caso que nos ocupa, madera aserrada de pino, está conformada de la siguiente manera:

44 Capítulo: Madera, carbón vegetal y manufacturas de madera.

07 Partida: Madera aserrada o desbastada longitudinalmente, cortada o desenrollada, incluso cepillada, lijada o unida por los extremos, de espesor superior a 6 mm.

10 Subpartida: De coníferas

01 Fracción: De ocote o pinabete, o abeto (oyamel) en tablas, tablonos o vigas.

La fracción arancelaria que incluye la madera aserrada de pino es: 4407.10.01.

El acuerdo por el que se dan a conocer las Notas Explicativas de la Tarifa Arancelaria (D.O.F. 2 de julio de 2007) señala que esta partida (4407) comprende, salvo algunas excepciones, a la madera aserrada o desbastada longitudinalmente, o bien cortada o desenrollada de espesor superior a 6 mm. Se presenta en forma de vigas, jácenas, tablonos, planchas, tablas, chillas, listones, etc., y productos considerados como equivalentes a la madera aserrada que se obtienen con cepilladora-fresadora. Esta operación permite obtener dimensiones muy precisas y un aspecto de superficie mejor que el que se consigue por aserrado, lo que hace innecesario el cepillado posterior.

4.1. Datos sobre la importación a México de madera aserrada

A efecto de conocer el movimiento o intercambio comercial que la madera aserrada de ocote o pinabete, o abeto (oyamel) en tablas, tablonos o vigas de importación, con fracción arancelaria 4407.10.01, ha presentado en el periodo comprendido del 2006 al 2015 se utilizó el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI4) de la Secretaría de Economía, los resultados se presentan en la Tabla 4 y Figura 15.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

Tabla 4. Importaciones totales del 2006 al 2015 por volumen expresado en m3 para la fracción arancelaria 4407.10.01

2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
239,775	139,071	531,270	163,452	151,636	148,735	302,244	221,024	221,894	241,932
Total, global: 2'361,033 m3									

Fuente: Secretaría de Economía con base en SAT, SE, BANXICO, INEGI. Balanza Comercial de Mercancías de México 2003 - 2015. SNIEG.



Figura 15. Volúmenes totales de madera aserrada. Fracción arancelaria 4407.10.01. Fuente: Secretaría de Economía con base en SAT, SE, BANXICO, INEGI. Balanza Comercial de Mercancías de México 2003 - 2015. SNIEG

Como se puede apreciar en la Tabla 4 y la Figura 15, en los últimos 10 años y tomando como base el año 2006, las importaciones de madera aserrada han presentado altibajos, 2009 y 2013 son los años que presentan el mayor volumen de importaciones, el 2009 con un 25% superior y 2013 con un incremento del 120% respecto del año 2006. En cambio, los años 2014 y 2010 son los que presentan los menores volúmenes registrados con una disminución del 42.5% y 38.5% respectivamente en comparación con los datos de 2006, el año 2015 mostró una disminución del 0.89% respecto del 2006. Sin embargo, el año 2015 presento un incremento del 72.4% comparado con 2014.

El volumen total importado en el periodo de 2006 a 2015 para cada uno de los tres países considerados como los mayores importadores de madera aserrada de ocote o pinabete, o abeto (oyamel) en tablas, tablones o vigas, se indica en la siguiente tabla:

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Tabla 5. Volumen de los tres países con mayores importaciones

País	Volumen (m3)
Estados Unidos	1'697,225
Canadá	447,528
Chile	121,935

Estados Unidos, Canadá y Chile en su conjunto engloban el 96% del total de las importaciones del periodo 2006-2015. El restante 4% corresponde a importaciones marginales de Brasil, Alemania, Honduras, y Corea, entre otros.

Es de destacar que durante el año 2015 se reportó proveniente de la República Federativa del Brasil un volumen de 88,259 m3 importados de madera aserrada, lo que representa el 36.8% del total de las importaciones para ese año, cifra superior a Canadá y Chile en un 364% y 397% respectivamente.

En relación a la contribución al mercado nacional, los Estados Unidos aportan al mercado el 71.9% del total de la madera aserrada de ocote o pinabete, o abeto (oyamel) en tablas, tablones o vigas importada, por su parte Canadá contribuye con el 18.9% y Chile con el 5.16% respecto del volumen total global para el periodo 2006-2015 (Figura 16).

Es importante mencionar que los datos que genera el SIAVI4 para esta fracción arancelaria no especifican el género o especie, ni la condición de la madera aserrada, es decir no se puede discernir si esta es seca en estufa, seca al aire o verde o bien, si presenta tratamientos necesarios para su conservación, tales como eliminación de la savia, carbonización superficial, revestimientos someros o impregnación con creosota u otros conservantes. En tanto que las estadísticas que maneja la SEMARNAT si incluyen esta información.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

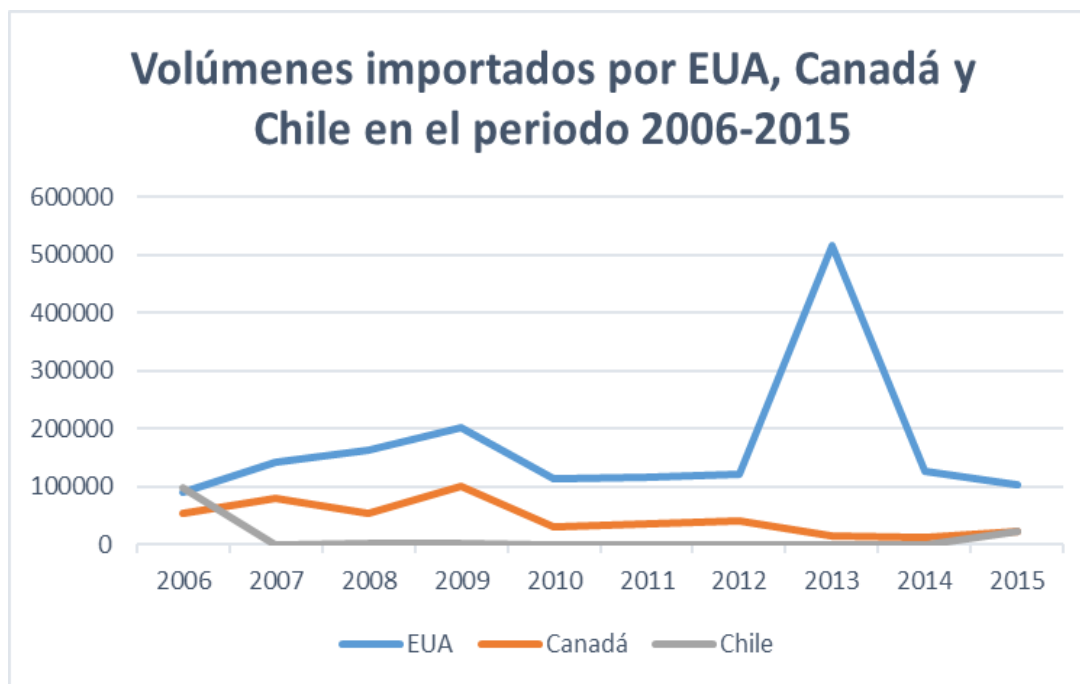


Figura 16. Volúmenes importados por EUA, Canadá y Chile. Fracción arancelaria 4407.10.01. Fuente: Secretaría de Economía con base en SAT, SE, BANXICO, INEGI. Balanza Comercial de Mercancías de México 2003 - 2015. SNIEG.

La importación de madera aserrada se concentra prácticamente en dos países, Estados Unidos y Canadá, ambos participan con el 91% del total global de las importaciones de este producto mismo que se utiliza principalmente para la producción de muebles y otros artículos similares y cabe recordar que en estos países está presente *Sirex noctilio*. En el caso de la madera chilena y brasileña está tiene como principal mercado, aunque no único, la industria del embalaje de madera (tarimas, cajas, cajones, etc.) para la exportación de bienes y mercancías.

Con respecto al valor económico de las importaciones de madera aserrada de ocote o pinabete, o abeto (oyamel) en tablas, tablones o vigas en el periodo comprendido del 2006 a 2015, el SIAVI4 reporta un valor de \$241'144,431 dólares.

De acuerdo con datos del anuario forestal, en el 2014 se tuvo una producción de madera de 5.7 millones de m3 rollo, de los cuales 4 303 853 m3 (76%) corresponden a madera del género *Pinus* (Figura 17), con un valor de 6,039,744,021 pesos, siendo los estados de Durango y Chihuahua los mayores productores. Lo anterior, nos permite valorar el impacto que puede ocasionar la entrada establecimiento y dispersión de *Sirex noctilio* en nuestro país, considerando que la producción de

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

madera derivada del pino es la que más aporta al volumen total nacional, por ende, nuestra principal fuente de madera.

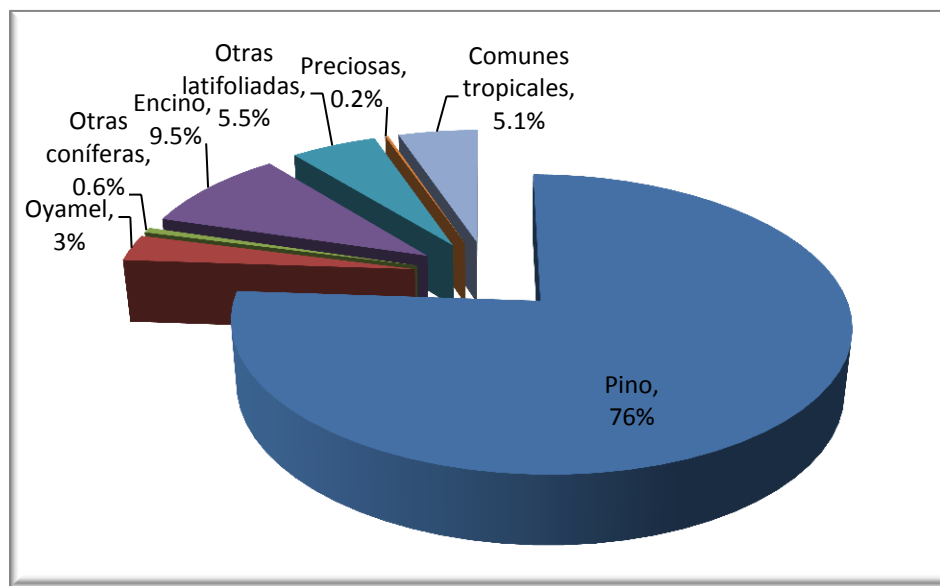


Figura 17. Porcentaje de participación en la producción nacional por grupo de especies. Fuente: Secretaria de Economía con base en SAT, SE, BANXICO, INEGI. Balanza Comercial de Mercancías de México 2003 - 2015. SNIEG

Complementariamente a la información presentada, y de acuerdo a los planteamientos establecidos, se solicitó información en el Área de Inspección Ambiental de Puertos, Aeropuertos y Fronteras de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), obteniéndose información acerca de las importaciones de madera aserrada para el periodo 2010-2015 y parte de 2016, la cual fue procesada para obtener la información de madera aserrada no estufada mostrada en la Tabla 6.

Tabla 6. Volumen de madera aserrada no estufada (2010-2015) por inspección

INSPECTORÍA	VOLUMEN (M ³)
AEROPUERTO INTERNACIONAL GENERAL PEDRO JOSÉ MÉNDEZ, VICTORIA, TAMAULIPAS.	40.583
AGUA PRIETA, AGUA PRIETA, SONORA.	18,582.043
ALTAMIRA, ALTAMIRA, TAMAULIPAS.	196,432.869
CIUDAD ACUÑA, CIUDAD ACUÑA, COAHUILA.	851.269
CIUDAD HIDALGO, CIUDAD HIDALGO, CHIAPAS.	1,920.344
CIUDAD JUÁREZ, CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	1,867.176

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

CIUDAD MIGUEL ALEMÁN, CIUDAD MIGUEL ALEMÁN, TAMAULIPAS.	45.178
CIUDAD REYNOSA, CIUDAD REYNOSA, TAMAULIPAS.	55,508.739
COLOMBIA, COLOMBIA, NUEVO LEÓN.	2,910.769
ENSENADA, ENSENADA, BAJA CALIFORNIA.	3,570.346
ESTACIÓN SÁNCHEZ, NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS	47,209.531
GUADALAJARA, TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO.	3.29
GUAYMAS, GUAYMAS, SONORA.	39.27
LÁZARO CÁRDENAS, LÁZARO CÁRDENAS, MICHOACÁN.	34,070.688
LOS ALGODONES, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA.	47.123
MANZANILLO, MANZANILLO, COLIMA.	1'415,786.098
MATAMOROS, MATAMOROS, TAMAULIPAS.	26,402.573
MAZATLÁN, MAZATLÁN, SINALOA.	1'762,521.386
MEXICALI, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA.	180,560.769
NOGALES, NOGALES, SONORA.	51,369.603
NUEVO LAREDO, NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.	74,269.253
OJINAGA, OJINAGA, CHIHUAHUA.	705.33
PIEDRAS NEGRAS, PIEDRAS NEGRAS, COAHUILA.	10,496.693
PROGRESO, PROGRESO, YUCATÁN.	32,594.454
PUENTE INTERNACIONAL ZARAGOZA-ISLETA, CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	8,050.365
PUERTO MORELOS, BENITO JUÁREZ, QUINTANA ROO.	875.832
SAN JERÓNIMO-SANTA TERESA, CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	41.622
SAN LUIS RIO COLORADO, SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA.	1,392.685
SUBTENIENTE LÓPEZ, SUBTENIENTE LÓPEZ, QUINTANA. ROO.	232.848
TAMPICO, TAMPICO, TAMAULIPAS.	281,102.558
TECATE, TECATE, BAJA CALIFORNIA.	7,351.485
TIJUANA, TIJUANA, BAJA CALIFORNIA.	281,506.07
TUXPAN, TUXPAN DE RODRÍGUEZ CANO, VERACRUZ.	83,539.785
VERACRUZ, VERACRUZ, VERACRUZ.	92,505.309

Fuente: Elaboración propia con base en los datos proporcionados el Área de Inspección Ambiental de Puertos, Aeropuertos y Fronteras de la PROFEPA, 2016

Adicional a la información de madera aserrada se obtuvo y se procesó información sobre tarimas y embalajes que también proporcione la PROFEPA para el mismo periodo de la madera aserrada y cuyos resultados se muestran en la Tabla 7.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Tabla 7. Cantidad de tarimas y embalajes (2010-2015) por inspectoría

INSPECTORÍA	CANTIDAD (piezas)
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO,	920
AEROPUERTO INTERNACIONAL GENERAL ABELARDO L. RODRÍGUEZ, TIJUANA, BAJA CALIFORNIA.	1,331
AGUA PRIETA, AGUA PRIETA, SONORA.	1,797
ALTAMIRA, ALTAMIRA, TAMAULIPAS.	6,413
CIUDAD ACUÑA, CIUDAD ACUÑA, COAHUILA.	23,573
CIUDAD HIDALGO, CIUDAD HIDALGO, CHIAPAS.	322,705
CIUDAD JUÁREZ, CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	5,626
CIUDAD REYNOSA, CIUDAD REYNOSA, TAMAULIPAS.	490,428
CIUDAD TALISMÁN, TUXTLA CHICO, CHIAPAS.	300
COLOMBIA, COLOMBIA, NUEVO LEÓN.	43,028
CHIHUAHUA, CHIHUAHUA, CHIHUAHUA.	2,305
ESTACIÓN SÁNCHEZ, NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS	60
GUADALAJARA, TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO.	593
GUANAJUATO, SILAO, GUANAJUATO.	7
IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE CONTENEDORES, CIUDAD DE MÉXICO, DISTRITO FEDERAL.	19
LAS FLORES, RIO BRAVO, TAMAULIPAS.	113
LÁZARO CÁRDENAS, LÁZARO CÁRDENAS, MICHOACÁN.	12,168
MANZANILLO, MANZANILLO, COLIMA.	2,385
MATAMOROS, MATAMOROS, TAMAULIPAS.	56,192
MEXICALI, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA.	194,253
MÉXICO, DISTRITO FEDERAL.	269,236
NOGALES, NOGALES, SONORA.	305,000
NUEVO LAREDO, NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.	294,488
OJINAGA, OJINAGA, CHIHUAHUA.	6,252
PIEDRAS NEGRAS, PIEDRAS NEGRAS, COAHUILA.	326,272
PROGRESO, PROGRESO, YUCATÁN.	79,148
PUENTE INTERNACIONAL ZARAGOZA-ISLETA, CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	180,220
PUERTO PALOMAS, PUERTO PALOMAS, CHIHUAHUA.	871
SAN LUIS RIO COLORADO, SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA.	91,693
SUBTENIENTE LÓPEZ, SUBTENIENTE LÓPEZ, QUINTANA. ROO.	5,230
TECATE, TECATE, BAJA CALIFORNIA.	48,179
TIJUANA, TIJUANA, BAJA CALIFORNIA.	480,184
VERACRUZ, VERACRUZ, VERACRUZ.	7,218

Fuente: Elaboración propia con base en los datos proporcionados el Área de Inspección Ambiental de Puertos, Aeropuertos y Fronteras de la PROFEPA, 2016

La información estadística obtenida se analizó para el periodo de 2010 a 2015, revisándose un total de 114,954 registros proporcionados por la PROFEPA de los cuales el volumen de la madera

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

aserrada no estufada asciende a 4'674,404 del cual el 88.0% se importó por las inspectorías de Mazatlán, Manzanillo, Tijuana, Tampico, Altamira y Mexicali. Las tarimas y embalajes no usados suman un total de 3'258,208 piezas de las cuales el 82.3% se importaron por las inspectorías de Reynosa, Tijuana, Piedras Negras, Ciudad Hidalgo, Nogales, Nuevo Laredo, Distrito Federal y Mexicali.

De igual manera, se acudió a la Dirección de Salud Forestal y Conservación de Recursos Genéticos dependiente de la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos de la SEMARNAT, para solicitar información estadística de los últimos cinco años o más, acerca de la importación de productos de escuadría y otros productos de madera que se ingresaron al país, diferenciándolos en la medida de lo posible en productos secados al aire libre y estufados, así como las medidas preventivas a que fueron sujetos para su ingreso y movimiento al interior de México. Al respecto se obtuvo información sobre las detecciones de plagas que datan de 1994 al 2015, en las que se tiene asentado el año, número de registro, producto, aduana, origen, procedencia, orden, familia, subfamilia, género y especie. De esta información se constató que no hay registros de detecciones que precisen que *Sirex noctilio* Fabricius haya tenido presencia en México, no obstante, encontraron dos registros para el Género *Sirex*, mismos que se indican en la tabla siguiente.

Tabla 8. Detecciones de *Sirex* spp en aduanas de México

Año	No. Registro	Producto	Aduana	Procedencia
2011	11/013	Madera Aserrada	Piedras Negras	EUA
2011	11/038	Madera Aserrada	Piedras Negras	EUA

Fuente: Elaboración propia con base en los datos proporcionados Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos de la SEMARNAT, 2016

Aunado a la obtención de la información presenta se efectuaron dos visitas (Tijuana y Colima) a sitios donde el personal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) está realizando monitoreo de insectos ambrosiales a fin de complementar la información de posible presencia de *Sirex noctilio* en las que se pudo constatar que no se ha presentado esta plaga, tanto en las trampas para el monitoreo como en el arbolado circundante a las mismas. Durante estas visitas se dio a conocer al personal de la CONAFOR la importancia de esta plaga y la necesidad de incluir procedimientos para su detección por la posibilidad que tiene *Sirex noctilio* de ingresar por las aduanas cercanas a los sitios visitados.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Por otra parte, la dispersión natural es lenta ya que como se ha mencionado después de la emergencia se inicia un corto período de vuelo con fines de apareamiento y dispersión. El vuelo del adulto es vigoroso y de corta duración, alcanzando sólo unos pocos kilómetros al año, debido tal vez al hecho de que el período de vida de la hembra no excede de cinco días, y el de los machos de 12 días, por lo que se requeriría de corredores naturales de bosque de pino para poder ingresar al interior de nuestro país. De acuerdo con (Zondag & Nuttal, 1977; Taylor, 1981; Neumann *et al.*, 1987; Lede *et al.*, 1998) la tasa de dispersión natural está entre 20 a 50 kilómetros por año.

5. POTENCIAL PARA PRODUCIR DAÑOS ECONÓMICOS

Su importancia radica en la pérdida de volumen por la muerte de los árboles y disminución en la calidad de la madera, como consecuencia de las galerías realizadas por las larvas. Los costos de producción aumentan ya que en los países en los que ha sido detectada esta plaga, se han visto obligados a poner en marcha programas de monitoreo y control de la plaga, algunos ejemplos son los siguientes.

En Nueva Zelanda, en 1946, después de una severa sequía, 12,000 hectáreas de *Pinus radiata* fueron afectadas por *Sirex noctilio*. En el verano de 1952-1953, en Tasmania, se talaron y quemaron alrededor de 3,000 árboles infestados. En 1959 en Pittwater, Australia, el 40% de 1,090 hectáreas de *Pinus radiata* murieron como consecuencia del ataque de este insecto. En 1962 se detectaron dos grandes áreas de *Pinus radiata* infestadas, en Melbourne y Gippsland Central. Posteriormente, este insecto ha continuado expandiéndose hacia Gales del Sur y Sur de Australia, con un avance promedio de 30 Km por año (Aguilar & Lanfranco, 1988).

En América del Sur se detectó en 1980 en Uruguay, en *Pinus radiata* y *P. ellioti*. En este mismo año se detectó al norte de Argentina (Provincia de Entre Ríos) en los mismos hospederos (Aguilar & Lanfranco, 1988).

Debido al impacto que ha tenido en las plantaciones comerciales del género *Pinus* en Chile (Goycoolea, 2015) en este país se ha instrumentado un programa de monitoreo y control de esta plaga que ha permitido reducir el impacto económico sobre estos recursos. Dichos aspectos se pudieron constatar mediante la visita a este país, en la que la combinación de la prevención mediante el monitoreo con trampas y el control biológico han sido exitosos. No obstante, para lograr minimizar los efectos de esta plaga se requiere seguir de manera muy ordenada y precisa los protocolos establecidos, mismos que se sustentan en el trabajo de un vasto número de personal altamente capacitado y con una demanda creciente por el avance de esta plaga, aspectos que son relevantes a considerar en el contexto de la actividad forestal de México, toda vez que la afectación de *Sirex noctilio* está centrada en plantaciones forestales, muchas de las cuales están bajo manejo intensivo y la industria invierte recursos para su control.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Acorde a las revisiones realizadas a continuación se indican opciones de prevención y control para *Sirex noctilio* que servirán de guía en caso de su introducción y dispersión en territorio mexicano.

5.1. Opciones de prevención

1. Monitoreo por parte de personal de PROFEPA en los lugares (puertos, aeropuertos y aduanas) donde se reciba mercancía proveniente de países con presencia de *Sirex noctilio*.
2. Manejo de densidad en bosques y plantaciones ya que *Sirex noctilio* ataca en sus etapas iniciales árboles suprimidos.
3. Debido a que la principal fuente de ingreso de la plaga es por medio de embalaje de madera, se debe tener muy en cuenta la correcta aplicación de los procedimientos marcados en la NORMA Oficial Mexicana NOM-144-SEMARNAT-2004, que establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera, que se utiliza en el comercio internacional de bienes y mercancías.
4. De igual forma, se debe exigir el cumplimiento de la NIMF n.º 15 que establece las directrices para reglamentar el embalaje de madera utilizado en el comercio internacional.
5. Se debe tener en consideración la correcta aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-016-SEMARNAT-2013, que regula sanitariamente la importación de madera aserrada nueva.

La correcta aplicación y seguimiento de estas normas son el principal medio para evitar la introducción de *Sirex noctilio* a nuestro país.

5.2. Opciones de control

5.2.1. Control químico

El uso de insecticidas contra la etapa adulta de *Sirex noctilio* no es factible debido a la corta vida del adulto y la tendencia del adulto a no alimentarse, siendo necesario un insecticida de contacto. Sin embargo, la falta de compuestos efectivos conocidos y los posibles efectos sobre organismos no objetivo, se considera el control químico como no conveniente (Borchert *et al.*, 2007).

5.2.2. Control Biológico

Existen varias opciones de control biológico disponibles para el manejo de *Sirex noctilio*, siendo el nematodo *Beddingia siricidicola* (originario de Europa y norte de África), el parásito más utilizado. En la actualidad, *B. siricidicola* se utiliza en el manejo de *Sirex noctilio* en, Argentina, Australia, Brasil, Chile, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Uruguay (Bedding y Lede, 2005, citado por Borchert *et al.*, 2007).

Ibalia leucospoides es considerado un importante agente de control biológico de *Sirex noctilio*, por poseer atributos poblacionales, tales como robustez, excelente capacidad reproductiva y rápida y distante capacidad de dispersión (Villacide y Corley, 2007). *Ibalia leucospoides*, está presente en

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

las zonas forestales de Asia, Europa y América del Norte, encontrándose de forma natural en Francia, Inglaterra, Rusia e introducido en Nueva Zelandia, Australia, Uruguay y Brasil (Weld, 1952; Rebuffo, 1990; Carvalho, 1993, citado por López *et al.*, 2012).

La detección temprana de *Sirex noctilio*, permite la liberación de enemigos naturales para el control de la plaga antes que el nivel poblacional de la misma, alcance los niveles de daño económico. El objetivo es detectarla antes que ésta provoque un nivel de mortalidad de árboles superior a 0,1%, es decir, de uno o dos árboles atacados por hectárea, en una forestación no raleada (COSAVE, 2002).

En caso de reportarse la presencia de esta plaga en México, el manejo recomendado será mediante la inoculación del nematodo *Deladenus siricidicola*, el cual ya se está reproduciendo de forma masiva en los laboratorios del (SAG, 2005) en Chile. Siempre que se tenga en consideración aspectos como los señalados en el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-70-FITO-1995, que establece los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la importación, introducción, movilización y liberación de agentes de control biológico.

6. METODOLOGÍA PARA DEFINIR LOS FACTORES QUE GENERAN RIESGO, VULNERABILIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD DE LOS HOSPEDEROS

Para definir los factores de riesgo se realizaron búsquedas bibliográficas sobre las condiciones en que se desarrollan los hospederos, las condiciones de hospederos que han sido afectados por *Sirex noctilio*, además de entrevistas con especialistas en plagas y enfermedades forestales de la Red de Salud Forestal de México, Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Posgraduados, Dirección de Salud Forestal y Conservación de Recursos Genéticos de la SEMARNAT, así como con personal especializado del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) del Gobierno Chileno. Producto de este seguimiento metodológico se definieron como los factores centrales que generan riesgo los siguientes:

Factores ambientales en los que se desarrollan los hospederos

Rangos normales de altitud, temperatura, precipitación y textura de suelos en los que se desarrollan los hospederos, así como atípicos (estrés hídrico provocado por sequías estivales o por sequías prolongadas).

Factores silvícolas

Falta o ausencia de manejo forestal, en particular el manejo de la densidad que propicia arbolado suprimido, diámetros y edades del arbolado preferidos para el ataque de *Sirex noctilio*, arbolado afectado por incendios o sin control de algún agente de daño.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Factores culturales

Poca cultura de prevención traducida en esquemas de monitoreo poco robustos, falta de capacitación, información insuficiente y no disponible para la toma de decisiones oportuna y en general poco interés en temas de salud forestal a nivel federal y estatal.

Respecto a la vulnerabilidad y susceptibilidad, se retoman los aspectos indicados por Krist *et al.*, (2007), y Reygadas (2012), los cuales definen la vulnerabilidad como el porcentaje de los individuos con presencia de la plaga que no sobreviven al ataque, en tanto que la susceptibilidad se refiere al porcentaje de individuos de un sitio que son atacados al presentarse la plaga. Estos dos conceptos forman parte esencial del establecimiento de los niveles de riesgo mediante el empleo del modelo multicriterio Krist *et al.*, (2007), ya que su ponderación está directamente ligada a los factores ambientales que requieren los hospederos y a la tentativa respuesta de éstos al ataque de *Sirex noctilio*.

A continuación, se presenta la descripción de las características de los hospederos propuestos, incluyendo los requerimientos ambientales de los mismos.

6.1. *Pinus radiata* Don.

Especie nativa de Estados Unidos de América. Árbol perennifolio entre 15 y 50 m de altura, raramente 60 m, con un diámetro normal de 30 a 90 cm. El fenotipo es muy variable, en el mundo se han observado desde individuos vigorosos con fuste recto, copa densa, redondeada e irregular, hasta poblaciones de árboles bifurcados, encorvados, con madera nudosa y otros defectos. Las poblaciones registran un incremento medio anual de 15 m³/Ha/año (CONABIO-CONAFOR, s/f). En los Estados Unidos se ha registrado su floración durante los meses de abril a junio, sus frutos se presentan entre agosto y octubre y la dispersión de semillas de octubre a noviembre (CONABIO-CONAFOR, s/f).

En México, *Pinus radiata* se asocia con el bosque de coníferas y bosque de Quercus. Sus poblaciones se distribuyen en los estados de Chihuahua, Distrito Federal, Estado de México, Querétaro, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Jalisco, Tlaxcala, Puebla, Michoacán, Chiapas y Baja California (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se desarrolla entre una altitud de 800 a 1700 m.s.n.m., con temperaturas media que van de los 18 a 22 °C y una precipitación optima de 800 a 1700 mm. Los suelos en los que crece son: Cambisoles, Regosoles y Luvisoles, con una profundidad de someros a moderadamente profundos, textura areno-arcillosa, no pedregoso y bien drenados; con un pH de neutro a moderadamente ácido (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Presenta mayor desarrollo en pendientes suaves o moderadas con exposición noreste, la exposición sur le es particularmente desfavorable. En coexistencia con zacates disminuye su crecimiento. Es resistente moderadamente a la sequía, pero se ha reportado daño significativo por

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

heladas en varias plantaciones, aunque en Monterrey, California. (Localidad de distribución natural) presenta una breve época de heladas (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se utiliza para producción de madera, pulpa y celulosa, a nivel mundial se le ha utilizado para aserrío, postería, cajas y en la construcción (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se ha introducido con éxito en Europa, Nueva Zelanda, el sudoeste de Australia, Chile, Brasil, Colombia y Sudáfrica. Las mayores plantaciones están en Chile y Nueva Zelanda, donde estas exceden hasta el 80 % de la superficie total de plantación.

Las plagas de mayor importancia que pueden causar altos niveles de mortandad, principalmente en las plantaciones comerciales, son: *Rhyacionia buoliana* y *Sirex noctilio*.

6.2. *Pinus patula* Schl. et Cham.

El *Pinus patula*, conocido por los nombres de ocote, pino llorón, pino triste, pino colorado, pino chino, pino xalocote, pino macho, es un árbol de 30 a 35 m de altura y de 50 a 90 cm de diámetro normal. Su copa es abierta y redondeada, tronco recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m, con una raíz profunda y poco extendida. Es de rápido crecimiento, 20 m³ /Ha/año. El crecimiento se detiene sensiblemente entre los 30 y 35 años de edad.

La maduración de los frutos se presenta hasta el final del año siguiente, el ciclo fenológico desde el inicio de la floración hasta la madurez de la semilla, es aproximadamente de 24 meses. El período de fructificación se presenta cada cuatro o cinco años, “año semillero”; sin embargo, en condiciones climáticas favorables se puede presentar producción anual y sus conos se caracterizan por ser seróticos (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se distribuye naturalmente sobre las formaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre de Oaxaca, en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Querétaro, Distrito Federal, Tlaxcala. En los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, se encuentran las poblaciones más grandes y con los mejores desarrollos. Existen plantaciones en Puebla, Estado de México, Michoacán y Distrito Federal (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Su distribución está entre 1600 y 3100 m.s.n.m. (óptima entre los 1800 y 2400), con rango de temperatura de -14 a 40 grados centígrados. Se encuentra en zonas con precipitaciones que van de los 600 mm hasta los 1500 mm de precipitación anual. Se desarrolla principalmente en zonas templadas con exposiciones norte y aquellas que reciben una gran cantidad de niebla durante el año, es posible encontrarla en lugares donde llegan los vientos húmedos del Golfo de México, aunque también pueden crecer en donde no exista humedad relativa alta (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Prefiere suelos poco pedregosos, con pH de 3.8 a 6.6 y bien drenados, de textura arenosa a arcillosa de francas a migajosas en el horizonte A, arcillosas en las partes más profundas (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Crece en terrenos de topografía plana y lomeríos con pendientes moderadas y hasta de 45 grados. Se menciona que la regeneración natural de *P. patula* se presenta con mayor frecuencia al pie de arbustos de *Baccharis conferta*, supuestamente debido a la protección mecánica que reciben las plántulas contra el pastoreo (CONABIO-CONAFOR, s/f).

En su uso, la madera es de buena calidad: se recomienda para construcciones que requieran resistencia, para postes, durmientes, pilotes, armaduras y vigas. Se emplea para la elaboración de cajas de empaque y para acabados interiores y exteriores. También es muy apreciada en la fabricación de papel debido a la longitud de sus fibras (CONABIO-CONAFOR, s/f).

6.3. *Pinus jeffreyi* Grev. & Balf.

A *Pinus jeffreyi* se le conoce con los nombres comunes de Pino negro, Pino real, Pino trusa y está sujeta a protección especial (NOM-059-SEMARNAT-2010). Es originario de los Estados Unidos (Oregón, Nevada y California) (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Es un árbol de fuste recto, sin ramas, de 60 m de alto y llega tener hasta 2.0 m de diámetro normal. Florece de marzo a abril (CONABIO-CONAFOR, s/f).

En México se distribuye en Baja California Norte, con dos poblaciones: San Pedro Mártir y Sierra de Juárez, entre una altitud que va de 1530 a 3050 m.s.n.m., temperaturas entre -15 como mínima hasta 40 como máxima y precipitaciones de 350 a 500 mm a baja altitud y 600 a mayor altitud (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se desarrolla en suelos derivados de granito o púmicos con textura arcillo-limoso y limoso poco profundos. Potencial para sitios donde se han dejado desperdicios de minas con alta acidez en el suelo, especialmente de sulfuro y donde la disponibilidad de nitrógeno es baja. Madera de excelente calidad, dura, resistente, para molduras, construcción, muebles, puertas y ventanas. Potencial para triplay y papel, y es ornamental (CONABIO-CONAFOR, s/f).

6.4. *Pinus ponderosa* Dougl.

El *Pinus ponderosa*, comúnmente conocido como pino real o pino blanco, es un árbol perennifolio de 25 a 35 m, en ocasiones 60 m, con diámetro normal hasta de 1.5 m. Tiene copa angosta y ramas extendidas o algo caídas Su floración está registrada de marzo a abril, sus semillas maduran en intervalos irregulares de 2 a 10 años (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

En México sus poblaciones se distribuyen en la Sierra de Juárez, San Pedro Mártir, Baja California, y al oeste de Chihuahua. Se desarrolla a una altitud entre 800 (mínima) a 2350 m.s.n.m. (máxima) y precipitaciones de 250 a 1,500 mm (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Tiene un mejor desarrollo en suelos migajón-arcilloso o areno-arcillosa, con pH de 4.9 a 9, ricos en carbonato de calcio, profundos. En general los suelos arenosos o gravosos son favorables para el establecimiento de plántulas; sin embargo, en estados juveniles y adultos se desarrollan mejor en suelos arcillosos, ricos en materia orgánica y nitrógeno, pobres en fósforo y medios en potasio. (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Es uno de los árboles maderables más importantes de los Estados Unidos. Las propiedades de la madera y su tamaño potencial lo hacen idealmente adecuado para la madera aserrada que se utiliza para la construcción. Se utiliza como madera en rollo para postes y aserrada para las cajas, marcos de ventanas, puertas, escaleras, pisos, apartaderos, paneles, chapas y para muebles.

Entre sus mayores plagas se encuentran: *Arceuthobium campylopodum*, *Sirex noctilio*, *Ips grandicollis* y *Cydia piperana*.

6.5. *Pinus halepensis* Miller.

El pino halepo (*Pinus halepensis*) es una especie arbórea de origen mediterráneo (Europa, Asia y África), con alturas de 15 a 20 m de altura y hasta 70 cm de diámetro normal. El tronco es macizo y tortuoso, de corteza gris rojiza y copa irregular con estróbilos rojizos de forma oval que miden 10 cm de longitud. Acículas largas agrupadas en pares, muy flexibles y ligeramente amarillentas (CONABIO-CONAFOR, s/f).

En México, las poblaciones de *Pinus halepensis* han sido introducidas en varios estados y están asociadas con el bosque de pino. Se desarrolla desde el nivel del mar hasta 2,200 m, con rangos de temperatura que oscilan entre los 2°C (mínima) a 34°C (máxima) y precipitaciones que van de los 400 mm hasta los 800 mm anuales (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Crece en suelos arenosos, francos arenosos, poco profundos con buen drenaje, escasamente fértiles con subsuelo calcáreo (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Tiene una gran capacidad de adaptación a diversos climas y suelos, se adapta a zonas secas (aún en sitios con solamente 250 mm de precipitación anual), donde hay hasta 8 meses de sequía. Esta especie tiene la capacidad de soportar altas temperaturas y a la vez ser resistente a las heladas (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se utiliza en la fijación de dunas, en terrenos erosionados, además de tener un potencial para cortina rompevientos de corta altura, así como uso ornamental en parques y jardines (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

6.6. *Pinus caribaea* (Sénéclauze) Barret y Golfari.

El *Pinus caribaea* conocido en México por los nombres de: Pino amarillo (Quintana Roo y Yucatán). Es un árbol perennifolio de 20 a 30 m de altura con un diámetro a la altura de pecho de 50 a 80 cm. Tiene una copa de redonda a piramidal, cuyas acículas están en fascículos de 3 a 4 (raramente 2 ó 5), son gruesas, rígidas y erectas, de color verde amarillentas, con una longitud de 15 a 25 cm (CONABIO s/f).

El fuste es recto y bien formado con ramas bajas largas, extendidas horizontalmente y caídas, ramas superiores ascendentes. La corteza externa es gruesa de color café rojiza con placas ásperas y con fisuras profundas verticales y horizontales. Poseen un cono rojo pardusco o café, de forma cilíndrica a cónico ovoide, ocasionalmente oblicuo, de 5 a 12 cm de largo por 3 a 8 cm de ancho. Crecen solos o en grupos; conteniendo de 30 a 60 semillas por cono, la cual es pequeña de 5 a 6 mm con un ala de 20 mm, articulada y cubre parcialmente a la semilla. Es monoico con sistema radial amplio y profundo (CONABIO s/f).

Árbol originario de la zona tropical de Centroamérica, se le encuentra en Nicaragua, Honduras, Belice, Guatemala, Islas Bahamas y Cuba (CONABIO, s/f).

En México su distribución se encuentra en los Estados de Quintana Roo y Yucatán, actualmente ha sido distribuido a Oaxaca y Chiapas con fines comerciales. Se desarrolla en altitudes que van de los 0 a 800 m.s.n.m. Las temperaturas medias en la que se desarrolla oscilan entre 22 y 28 °C, con máximas de 37 °C y mínimas esporádicas de 5 °C. Suelos franco o franco-arenoso, profundo, café-claro, arcillo-arenoso, con gran cantidad de grava, pobremente drenado, infértil y con buen drenaje, arenoso de reacción ácida, arcilloso, sílico-arcilloso con abundante hierro. Desarrolla en pH de 5 a 5.5 (CONABIO-CONAFOR, s/f).

La madera se usa generalmente para muebles, pisos, chapa y láminas para contrachapados. Localmente se emplea para leña y para construcción rural y pesada. La resina sirve como materia prima de la industria productora de jabón, desinfectantes, barnices, fármacos, hules y pinturas (CONABIO, s/f).

6.7. *Abies concolor* (Gordon & Glend.) Lindl.

El Oyamel de California, Pinabete, Abeto u Oyamel, es árbol de tronco recto, corteza de un color blanco-grisáceo cuando es joven tornándose gris-café cuando es adulto, subiendo el tono hasta alternar líneas claras y oscuras, también es resinoso, hojas alternadas de +/- 2 en ramas bajas, de 3-9 cm de longitud sobre la superficie de las ramas, presenta, conos de 6-13 cm de longitud cuando se abre (CONABIO, s/f).

Se distribuye desde Oregón en las montañas azules hasta el sur de California y norte de Baja California al oeste en algunas partes de Idaho, Wyoming y sur de Colorado, así como en el sur de las montañas Rocosas de Utah y Colorado, sur de Arizona, Nuevo México y norte de México (CONABIO, s/f).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Hábitat en bosques mixtos de coníferas principalmente en zonas de suelo profundo y bien drenado, bases de arroyos, zonas pedregosas y en algunos valles de la sierra. Se desarrolla en climas templados (CONABIO, s/f).

El Abeto del Colorado (*Abies concolor*) es una especie nativa del Oeste de Norteamérica, las Montañas Rocosas y crece desde Arizona, Colorado, Utah y hasta México en altitudes entre 1800 y 3600 m.s.n.m. Es un árbol de porte grande que alcanza de 25 a 60 m de altura y con más de 2 m de diámetro a la altura de pecho. Es generalmente tolerante una variedad de condiciones de suelos, disponibilidad de nutrientes y pH. Se considera más dependiente a la disponibilidad de humedad y la temperatura que a los suelos, siendo moderadamente sensitivo a los excesos de humedad en el suelo.

Introducido en Europa en 1872, se ha extendido por la cuenca del Mediterráneo y desde el Báltico hasta el Mar Negro; no obstante, conquistó rápidamente un lugar importante, no sólo como el abeto más cultivado en colección, sino también como elemento importante en la composición floral de los parques y jardines europeos.

Para su floración le favorece la semisombra, también florece en campo abierto, es relativamente poco exigente en cuanto a la fertilidad del suelo y la humedad atmosférica, soportando el clima seco y zonas cálidas y resistiendo perfectamente no sólo en regiones situadas mucho más al Norte, sino que también resiste el medio urbano mejor que cualquier otra conífera. Clasificado también como *Picea concolor*; el calificativo concolor se debe a que las acículas u hojas presentan idéntico color por el haz y el envés.

Es un excelente árbol ornamental por ser uno de los abetos más bellos y resistentes, teniendo significancia económica cuando crece en bosques cuyas regiones pueden ser más secas.

Esta especie puede ser atacada por plagas de adélidos, curculiónidos, tortricidos, áfidos y tineoideos. En tanto en cuanto a enfermedades puede verse afectada por hongos (*Monilinia fructicola*).

6.8. *Abies religiosa* (Kunth Schltdl. et Cham.)

Abies religiosa, llamado comúnmente Abeto – Veracruz; acshoyatl – Estado de México; bansú (lengua otomí) – Hidalgo; ocopetla - Teotepec, Gro.; oyamel – Estado de México, Hidalgo; pinabete – Michoacán y Jalisco; thúcum (lengua tarasca) – Michoacán; ueyomel - Ixcaltepec, Gro.; xolócotl – Estado de México (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Nativo de las montañas centrales y del sur de México (Eje Volcánico Transversal, Sierra Madre del Sur) y del oeste de Guatemala. Crece a altitudes de 2500 a 3500 m.s.n.m. en bosques templados y con precipitación media anual superior a los 1000 mm, con veranos húmedos y caída de nieve invernal (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Es un árbol de tamaño grande, perennifolio, de 25 a 50 m de altura, con un tronco recto de hasta 2 m de diámetro a la altura de pecho. Las hojas son como agujas chatas de 15 a 35 mm de longitud y 1.5 mm de ancho por 0.5 mm de espesor, verde oscuro en el haz, y con dos bandas azul blancas de estomas en el envés; el extremo de la hoja es agudo. El arreglo de hojas es en espiral. Los conos tienen 8 a 16 cm de longitud y 4 a 6 cm de ancho, antes de madurar azul púrpura oscuros; las brácteas son púrpura o verdosas, de moderada longitud. Las semillas aladas se despegan cuando los conos se desintegran en la madurez, 7 a 9 meses luego de la polinización (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se considera un elemento arbóreo de alta montaña muy resistente al frío, pero no así a temperaturas altas, en alturas inferiores a los 2000 m.s.n.m., presenta mayor vulnerabilidad a enfermedades y plagas (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Se desarrolla en suelos generalmente profundos, aunque también en suelos someros de textura limo-arenosa, arcillo-arenosa o arenosa con una pedregosidad de ligera a moderada, granular o en bloques, con un pH de 5 a 7, y muy ricos en materia orgánica (hasta 70 %, especialmente en horizontes superficiales). Prefiere sustratos bien drenados y húmedos la mayor parte del año. Las temperaturas en su hábitat varían entre los -20 °C, una media de 7° C a 15° C hasta máximas de 25° C. La precipitación media anual es superior a los 1000 mm (CONABIO-CONAFOR, s/f).

Los suelos donde se establece el oyamel son muy jóvenes, de origen volcánico (andesitas, basaltos o riolitas), y presentan geoformas con pendientes muy pronunciadas. También se menciona que las propiedades físicas del suelo influyen más en el desarrollo que las químicas, la profundidad, el drenaje, la textura, estructura y el contenido de humus son propiedades decisivas en su desarrollo. (CONABIO-CONAFOR, s/f; NATURALISTA, s/f).

El uso más importante es como árbol de ornato en temporada navideña, además de sus ramas que se utilizan para hacer adornos en ceremonias religiosas. La madera no es de muy buena calidad, pero se recomienda para fabricar papel, ya que la pulpa es de muy buena calidad (CONABIO-CONAFOR, s/f).

6.9. *Pseudotsuga menziesii* Mirb

Los árboles de *Pseudotsuga menziesii* conocidos como pinabete, abeto Douglas cahuite, pinabete, ayarín y gayamé colorado se encuentran en poblaciones aisladas, frecuentemente mezclados y dominados por otras especies. El pinabete crece en forma natural principalmente en la porción norte de la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas, y en la parte norte de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León Coahuila y Tamaulipas. Además, se encuentra en pequeños rodales en la parte oriental del Eje Neovolcánico, en el centro del país.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

En el noroeste de México se encuentra en intervalos altitudinales de entre 1500 y 3600 m.s.n.m. preferentemente sobre los 2800 m.s.n.m., en tanto que para el centro del país la altitud de las poblaciones oscila de 2450 a 3400 m.s.n.m. (Ventura *et. al.*, 2010).

Son árboles usualmente de 12 a 20 metros y hasta 40 metros, con follaje perennifolio. Es común encontrar esta especie en barrancas pronunciadas y lomeríos, sitios favorecidos por condiciones de sombra y humedad, preferentemente en temperaturas medias de 7 a 13°C y precipitaciones medias de 1200 mm. Los suelos en los que se desarrolla suelen ser de someros a profundos, con texturas franco-arenosas, arcillosas, francas o arcillo-limosa, pedregosas y húmedas.

En la siguiente tabla se expresa un resumen de los requerimientos ambientales, para los hospederos descritos.

Tabla 9. Resumen de requerimientos ambientales para hospederos de Sirex noctilio.

Hospedero	Suelo/Textura	Altitud m.s.n.m	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Clima
<i>Pinus radiata</i>	Suelos Cambisoles, Regosoles y Luvisoles (FAO), suelos franco-arenosos o areno-arcillosa, bien drenados, con pH neutro a ligeramente ácido, exigente en Fósforo, Boro y Zinc.	800 a 1,700,	18 a 22	800 a 1,700	Climas templados o cálidos, puesto que no soporta las temperaturas muy bajas ni las heladas y necesita bastante humedad, aunque tolera algo de sequía estival
<i>Pinus patula</i>	Prefiere suelos poco pedregosos, con pH de 3.8 a 6.6 y bien drenados, de textura arenosa a arcillosa de francas a migajosas en el horizonte A, arcillosas en las partes más profundas	1,600 a 3,100	-14 a 40	600 a 1,500	zonas templadas con exposiciones norte y aquellas que reciben una gran cantidad de niebla durante el año, es posible encontrarla en lugares donde llegan los vientos húmedos del Golfo de México
<i>Pinus jeffreyi</i>	Se encuentra en suelos derivados de granito o púmicos, de Textura limosos o Arcillo-limoso, de profundidades someras y poco fértiles	1,530 a 3,050	-15 a 40	350 a 600	Clima Templado de tipo Mediterráneo con lluvias en invierno y verano seco
<i>Pinus ponderosa</i>	Suelos migajón-arcilloso o areno-arcillosa, con pH de 4.9 a 9, ricos en carbonato de calcio, profundos. En general los suelos arenosos o gravosos son favorables para el establecimiento de plántulas; en estados	800 a 2,350	18 a 24	250 a 1,500	Clima de veranos templados, relativamente secos; inviernos muy fríos, bastante secos.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

Hospedero	Suelo/Textura	Altitud m.s.n.m	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Clima
	juveniles y adultos se desarrollan mejor en suelos arcillosos, ricos en materia orgánica y nitrógeno, pobres en fósforo y medios en potasio				
<i>Pinus halepensis</i>	Suelos rocosos y secos de textura arenosa, franco-arenosos con pH alcalino, neutro o ácido, poco profundos y con buen drenaje	0 a 2,200	2 a 34	400 a 800	Climas de tipo mediterráneo, templados, con gran capacidad de adaptación a diversos climas en zonas secas, donde hay hasta 8 meses de sequía. Puede soportar altas temperaturas y a la vez ser resistente a las heladas
<i>Pinus caribaea</i>	Suelos franco o franco-arenoso, profundos, arcillo-arenoso, con gran cantidad de grava y con buen drenaje, no tolera suelos calcáreos, tolera baja disponibilidad de fósforo y nitrógeno. Se desarrolla en pH de 5 a 5.5.	0 a 800	22 a 37	2,000 a 2,500	Se encuentra en la vertiente atlántica desde el nivel del mar en las llanuras costeras hasta 850 m.s.n.m en las tierras del interior. Se adapta a una gran variedad de ambientes
<i>Abies concolor</i>	Tolerante una variedad de condiciones del suelo, disponibilidad de nutrientes y pH. Se considera más dependiente a la disponibilidad de humedad y la temperatura que a los suelos, siendo moderadamente sensitivo a los excesos de humedad en el suelo.	1,800 a 3,600	14 a 30	500 a 900	Climas templados de tipo Mediterráneo con lluvias en invierno y verano seco, prefiere exposiciones norte, con mayor humedad y sombra.
<i>Abies religiosa</i>	Se desarrolla en suelos generalmente profundos, aunque también en suelos someros de textura limo-arenosa, arcillo-arenosa o arenosa con una pedregosidad de ligera a moderada, granular o en bloques, con un pH de 5	2,500 a 3,600	7 a 15	1000 a 2,200	Clima Cb'(w2) (templado, semifrío, con verano fresco largo, subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2% anual)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Hospedero	Suelo/Textura	Altitud m.s.n.m	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Clima
	a 7, y muy ricos en materia orgánica prefiere sustratos bien drenados y húmedos la mayor parte del año				
<i>Pseudotsuga menziessi</i>	Suelos muy variados: Regozol, feozem, leptozol y cambisol, de someros a profundos de textura franco-arenosa, arcillosa, franca y arcillo-limosa. El pH de 6 a 7.6 con pendientes de 20 a 70%, con exposiciones norte, noreste y noroeste.	1,500 a 3,600	7 a 13	450 a 1300	Climas de subhúmedos a templado húmedos: Cb'(w2), C(w1) y C(m), con lluvias en verano.

7. MODELOS DE PREDICCIÓN NACIONAL

7.1. Escala de riesgo

Las escalas de riesgo para cada modelo de predicción empleado se describen a continuación:

Escala de riesgo para el modelo multicriterio

Esta escala se estableció siguiendo las recomendaciones de Krist *et al.*, (2007), utilizadas a su vez por Reygadas (2012), la cual es una escala cualitativa integrada por las categorías que se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Escala cualitativa empleada con el modelo multicriterio

Categoría de Riesgo	Valores	
Sin Riesgo	1 - 2	
Bajo	3 - 4	
Moderado	5 - 6	
Alto	7 - 8	
Muy Alto	9 - 10	

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

En el caso de MaxEnt, para establecer el umbral de probabilidad, sobre el cual se consideró cierta la presencia de la especie o la idoneidad del hábitat, se consideró lo indicado en la Tabla 11.

Tabla 11. Categorías para idoneidad de hábitat con MaxEnt

Categoría	Parámetros	
	Valor inicial	Valor final
Nula		Valores menores al umbral de corte el mínimo de presencia de los puntos de entrenamiento (UCMP): < UCMP
Baja	Umbral de corte el mínimo de presencia de los puntos de entrenamiento: UCMP	Percentil 10 de los puntos de entrenamiento (10PERC): 10PERC
Media	Percentil 10 de los puntos de entrenamiento (10PERC): 10PERC	La suma del Percentil 10 de los puntos de entrenamiento más el valor del equilibrio entre la omisión de los puntos de entrenamiento y del área prevista (EOPEA): 10PERC + (EOPEA
Alta	Valor mayor a la suma del Percentil 10 de los puntos de entrenamiento más el valor del equilibrio entre la omisión de los puntos de entrenamiento y del área prevista.	Se tomó el valor de regularización determinado en 1.0

Sin embargo, debido a que en algunas muestras la cantidad de registros era baja, los valores de la suma del Percentil 10 de los puntos de entrenamiento más el valor del equilibrio y la omisión de los puntos de entrenamiento del área prevista eran los mismos, lo cual no permitió determinar la categoría media, por lo que el parámetro se ajustó de acuerdo a los requerimientos y la ecología de la especie.

7.2. Modelos

Una vez definidos los requerimientos ambientales de los agentes causales y sus hospederos, así como la susceptibilidad y vulnerabilidad de los últimos, e integrada la cartografía de las variables ambientales para el modelado (Anexo 1), se estableció la estructura de los dos modelos a emplear para determinar el riesgo de distribución por hospedero de ambos patógenos.

Dicha estructura se basó en la secuencia de algoritmos y etapas que cada técnica de modelado utiliza y que se describen a continuación.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

7.2.1. Modelo multicriterio para mapeo de riesgo de plagas forestales (Krist, et al., 2007) basado en Model Builder

Con base en los requerimientos ambientales de los principales hospederos para ambas plagas, bases de datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2016 (árboles por hectárea y diámetro normal) y coberturas de información geográfica nacionales del continuo de elevaciones mexicano y texturas de suelos de INEGI (2016), así como temperatura y precipitación obtenidas de WORLDCLIM (2016), se integró para el caso del modelo determinístico sustentado en Model Builder un modelo base que permitió obtener mapas de riesgo para cada hospedero seleccionado, y que ante factores abióticos adversos permiten aumentar la posibilidad de establecimiento de *Sirex noctilio* y con ello su dispersión en áreas forestales de importancia nacional. El modelo base es mostrado en la Figura 18.

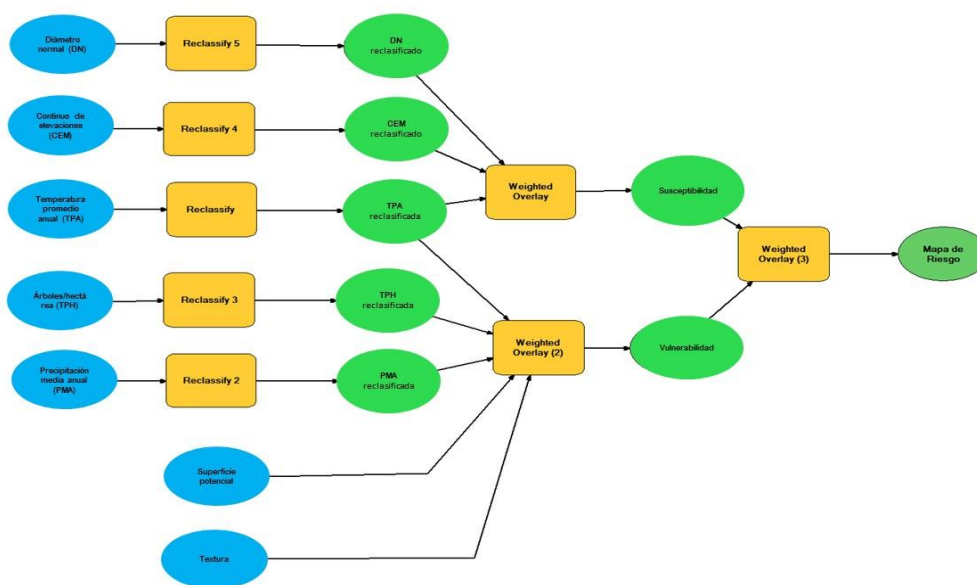


Figura 18. Modelo general para la obtención de mapas de riesgo, Model Builder.

Las capas o coberturas de información empleadas en el modelado se estandarizaron convirtiéndolas en formato raster con un tamaño de pixel de un kilómetro por lado.

Una vez homologadas las capas de información se reclasifican de acuerdo a los requerimientos ambientales de cada hospedero (Altitud, temperatura, precipitación y textura de suelo) y a factores que tienen relación directa con las condiciones que se mencionaron favorecen el establecimiento de *Sirex noctilio*, tales como la densidad y el diámetro normal.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Una vez reclasificadas estas capas se ponderan de acuerdo a la calificación de susceptibilidad y vulnerabilidad que fue asignada a cada especie, acorde a los rangos y parámetros utilizados por los autores de este enfoque de modelado.

Los parámetros puntuales empleados para cada especie se definen a partir de la información bibliográfica y a la opinión de especialistas que conocen o identifican los requerimientos para el desarrollo de cada especie y su probable respuesta ante el ataque de la plaga en cuestión, lo cual forma parte del enfoque de los métodos de análisis multicriterio, cuando se manejan casos en donde la información puntual no existe o puede tomar valores diversos en función de las condiciones en las que se contextualiza la información y por tanto se torna en un aspecto de valoración cualitativa y de juicio en donde el valor de los conocimientos de los especialistas juega un papel importante, como lo fue en este caso en particular.

Las reclasificaciones y ponderaciones dan como resultado una cobertura raster que permite clasificar el nivel de riesgo que presenta cada hospedero dentro las áreas de distribución de los tipos de vegetación con los cuales se asocia.

7.2.2. Modelo para predicción de nicho ecológico basado en el enfoque de Máxima Entropía (MaxEnt)

El programa MaxEnt (Phillips & Dudik 2008) se basa en el principio que la distribución estimada de una especie debe coincidir con la distribución conocida o deducida a partir de las condiciones ambientales dónde ha sido observada, evitando hacer cualquier suposición que no sea soportada por los datos. El enfoque consiste en encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía, que es la más cercana a la distribución uniforme, condicionada por las restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de la especie y las condiciones ambientales del área de estudio.

MaxEnt tiene dos partes: Un componente de restricción y otro de entropía. El Componente de restricción, que define las limitaciones sobre la distribución de probabilidad (ej. temperatura, precipitación, altitud), en todos los lugares con presencia de la especie. El Componente de entropía, considera que muchas distribuciones podrían cumplir estas limitaciones, maximiza la entropía como método para seleccionar las distribuciones de mayor probabilidad que se adapten a sus restricciones. Es importante señalar que MaxEnt asume que la probabilidad es uniforme en el espacio geográfico y se aleja de esta distribución a medida que se ve obligado por las restricciones.

En este sentido, MaxEnt, obtiene las condiciones ambientales apropiadas para las especies, esto es, identifica donde están espacialmente ubicados los sitios que cumplen con los requisitos adecuados para las especies por lo que es una valiosa herramienta que permite determinar la distribución de especies con información limitada, y pueden ser de gran ayuda en la generación de información no disponible, evaluando el nivel de riesgo de afectación de *Sirex noctilio* para cada hospedero.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Diversos autores coinciden en que el programa MaxEnt posee ventajas sobre otros programas en la generación de escenarios de distribución, ya que este requiere solo datos de presencia, es decir, cuando existen registros de donde está presente la especie, pero no se conoce si una “no presencia” es una “ausencia verdadera” o simplemente es resultado de que dicho especie no fue buscada en el sitio (Margules y Sarkar, 2007), a diferencia de otros modelos que requieren datos de presencia y ausencia, así como un número pequeño de muestras.

A pesar de que existe diversos de modelos similares a MaxEnt, la mayoría de los autores que utilizan modelos basados en nichos ecológicos, coinciden que 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, ha probado tener un muy buen rendimiento aún con bajo número de muestras y tercero, su disponibilidad gratuita (Hernández *et al.*, 2006; Elith *et al.*, 2006, Tognelli *et al.*, 2009).

El resultado de este análisis se presenta de forma continua, permitiendo distinguir sutiles cambios en la adecuación modelada en diferentes áreas, además de que nos permite conocer la contribución de cada capa ambiental en el modelo generado mediante el estadístico *Jackknife*.

Las coberturas utilizadas para modelar el nicho ecológico potencial de las especies consistieron en 19 variables bioclimáticas (Tabla 121) del proyecto WorldClim, descargadas a través del portal WorldClim v1.4 (Hijmans *et al.*, 2005) con una resolución aproximada de 1km².

Para para cada variable se descargaron tres cartas independientes para conformar el área de estudio, es decir, el mosaico del territorio mexicano, las cuales fueron procesadas en el software ArcMap 10.3 (ESRI, 2014) ajustando la proyección y la generación de un ráster con las mismas características para cada variable. Finalmente, las capas resultantes se transformaron a formato ASCII, el cual es requerido en el programa MaxEnt.

Tabla 12. Variables ambientales utilizadas para el modelado con MaxEnt

Clave	Variable ambiental
Bio1	Temperatura media anual
Bio2	Rango de temperatura media diurna (media mensual (Temp max. – Temp. min))
Bio3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
Bio4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar *100)
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)
Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

Clave	Variable ambiental
Bio9	Temperatura media del trimestre más seco
Bi10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bi11	Temperatura media del trimestre más frío
Bi12	Precipitación anual
Bi13	Precipitación del mes más húmedo
Bi14	Precipitación del mes más seco
Bi15	Estacionalidad de precipitaciones (Coeficiente de variación)
Bi16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bi17	Precipitación del trimestre más seco
Bi18	Precipitación del trimestre más cálido
Bi19	Precipitación del trimestre más frío

Aunado a las capas indicadas se emplearon coberturas de puntos georreferenciadas de los puntos de distribución conocida para cada hospedero obtenidos a partir de datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Estas coberturas se procesaron para obtener las coordenadas en grados decimales para su empleo en el programa MaxEnt.

7.3. Mapas

Sobre la base de la estructura definida en el apartado anterior para el modelo multicriterio y para el enfoque de nicho ecológico y en la información bibliográfica, de entrevistas y cartografía obtenida se generaron los modelos multicriterio con Model Builder (Anexo 2) y se modeló el riesgo de distribución de *Sirex noctilio* para los nueve hospederos con ambos métodos.

Para obtener la distribución potencial mediante MaxEnt, se utilizó la versión 3.3.3 (Phillips & Dudik, 2008), para el cual se utilizaron los parámetros propuestos por Botello *et al.* (2015) con los siguientes ajustes: para calibración del modelo se especificaron 500 iteraciones y el límite de convergencia se fijó en 0.00001; el valor de regularización se determinó en 1.0, ya que al considerar regular el valor del modelo con un valor menor a uno permite generar una distribución de salida más localizada, ya que esta se ajusta estrechamente al número de ocurrencias. Mientras que el umbral fue del décimo de percentil de los puntos de entrenamiento, el cual toma intervalos de valores que incluye al 90% de los registros de presencia y excluye el 10% restante, los cuales no corresponden a las condiciones actuales del modelo y se puede deber a ocurrencias que se encuentren mal georreferenciados o sin validar (Liu *et al.*, 2005; Morueta-Holme *et al.*, 2010).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Además, se utilizaron los comandos para eliminar los registros duplicados con el fin de evitar una sobreestimación de área de distribución. Para evaluar la contribución de las variables ambientales en la predicción de los modelos de cada especie se analizaron los resultados mediante la estimación de los porcentajes de contribución relativa al modelo y los resultados de la prueba estadística *Jackknife*.

La salida de los datos fue logística y en formato ASCII, la cual fue seleccionada por permitir una interpretación más sencilla del modelo (Phillips *et al.*, 2006).

En lo que respecta a la validación del modelo, se tomó en cuenta la curva ROC como medida de desempeño. La cual es un método gráfico para evaluación, organización y selección de sistemas de diagnóstico y/o predicción, suministrando el Área Bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés). Los parámetros utilizados para conocer la precisión del modelo fueron los siguientes: 0.50-0.60 = insuficiente; 0.60-0.70 = pobre; 0.70-0.80 = promedio; 0.80-0.90 = bueno; 0.90-1 = excelente (Araújo y Guisan, 2006).

Las áreas de idoneidad para el desarrollo de cada hospedero, mostradas en las figuras siguientes, en las que por tanto serán las áreas donde tendrá también probabilidad de establecimiento *Sirex noctilio*, asumiéndose éstas como las áreas de riesgo.

Los resultados del modelado mediante Model Builder y MaxEnt son mostrados en las Figuras 19 a la 36, mismas que se incluyen en el Anexo 3.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

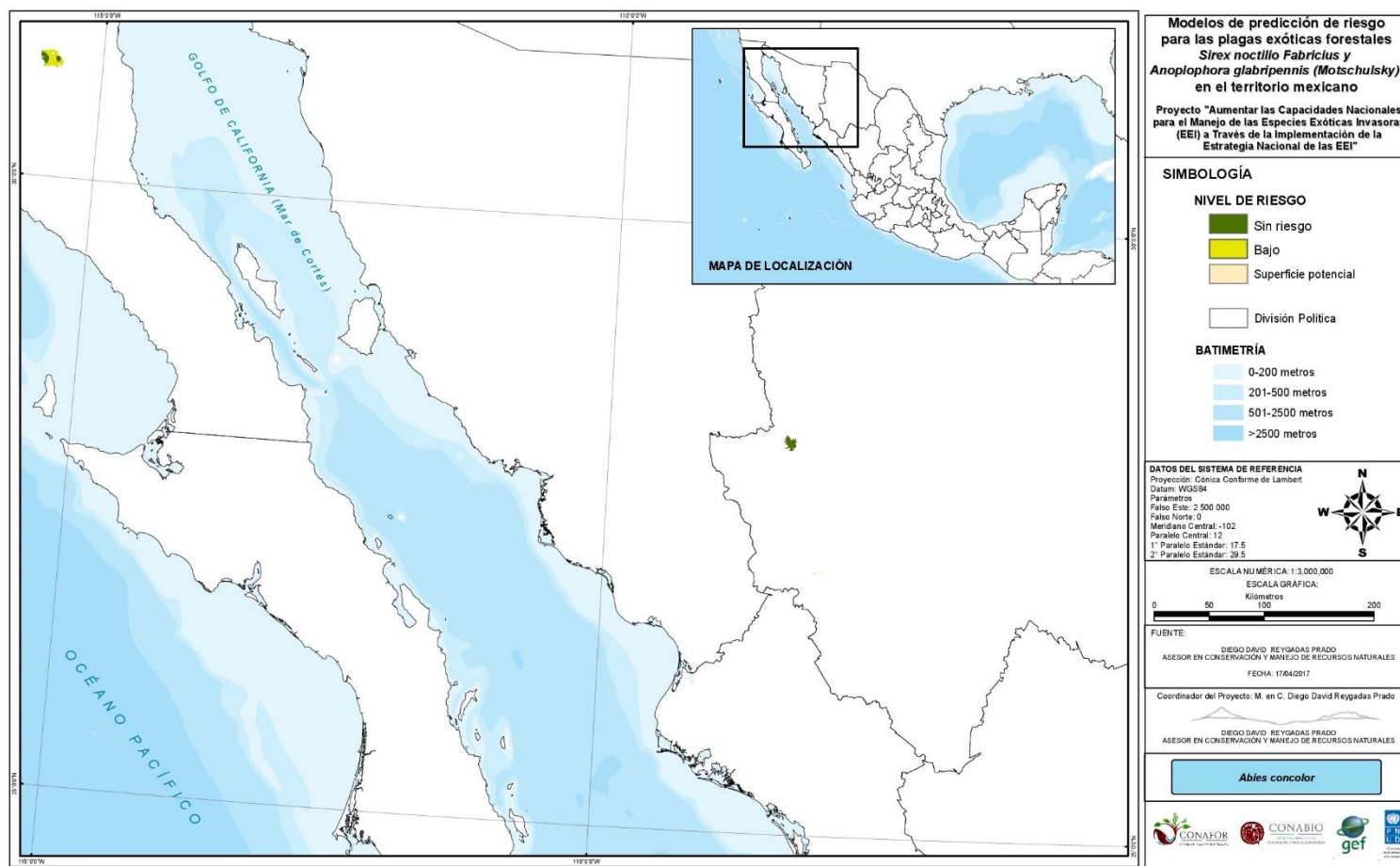


Figura 19. Mapa de riesgo para *Abies concolor* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

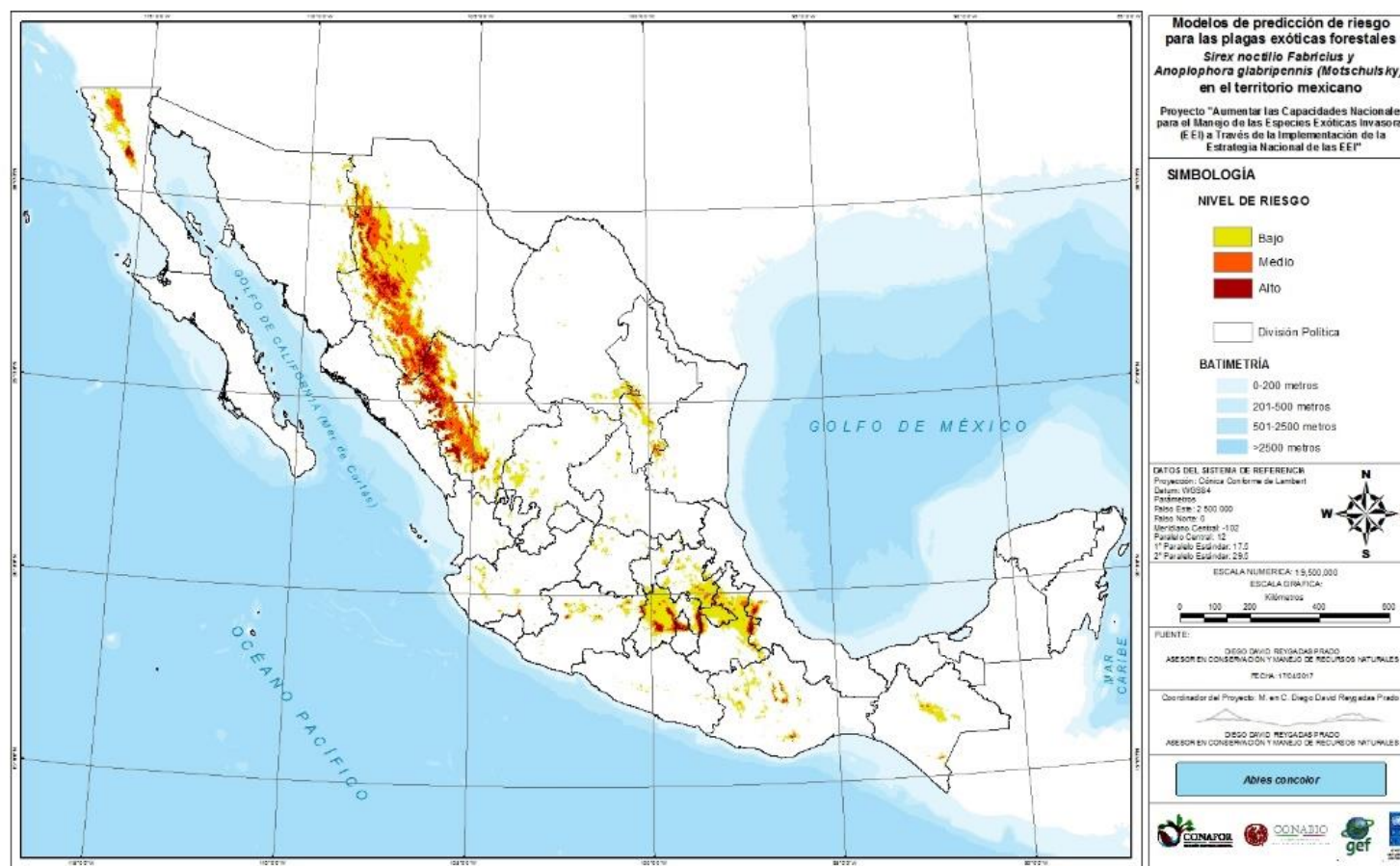


Figura 20. Mapa de riesgo para *Abies concolor* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

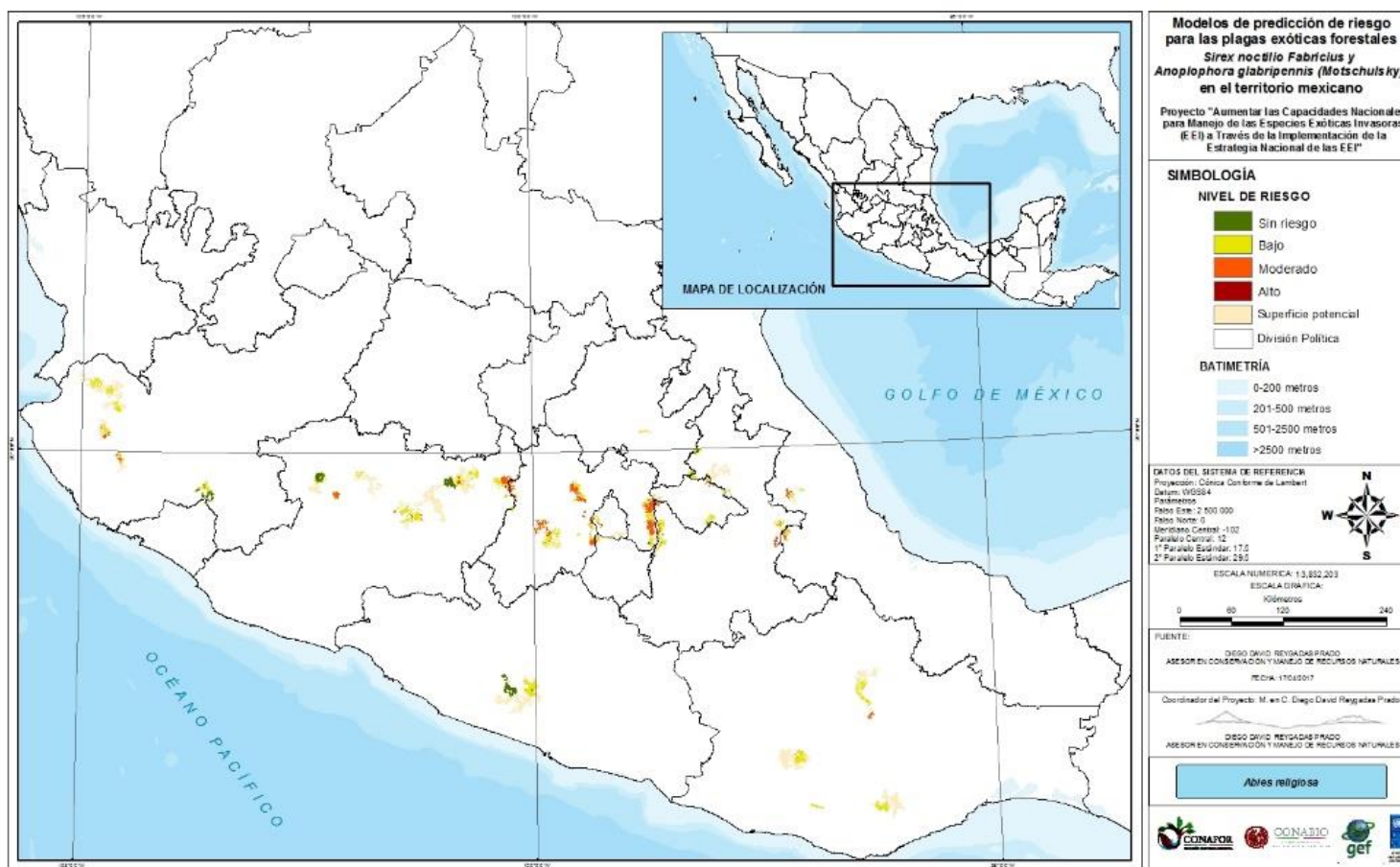


Figura 21. Mapa de riesgo para *Abies religiosa* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

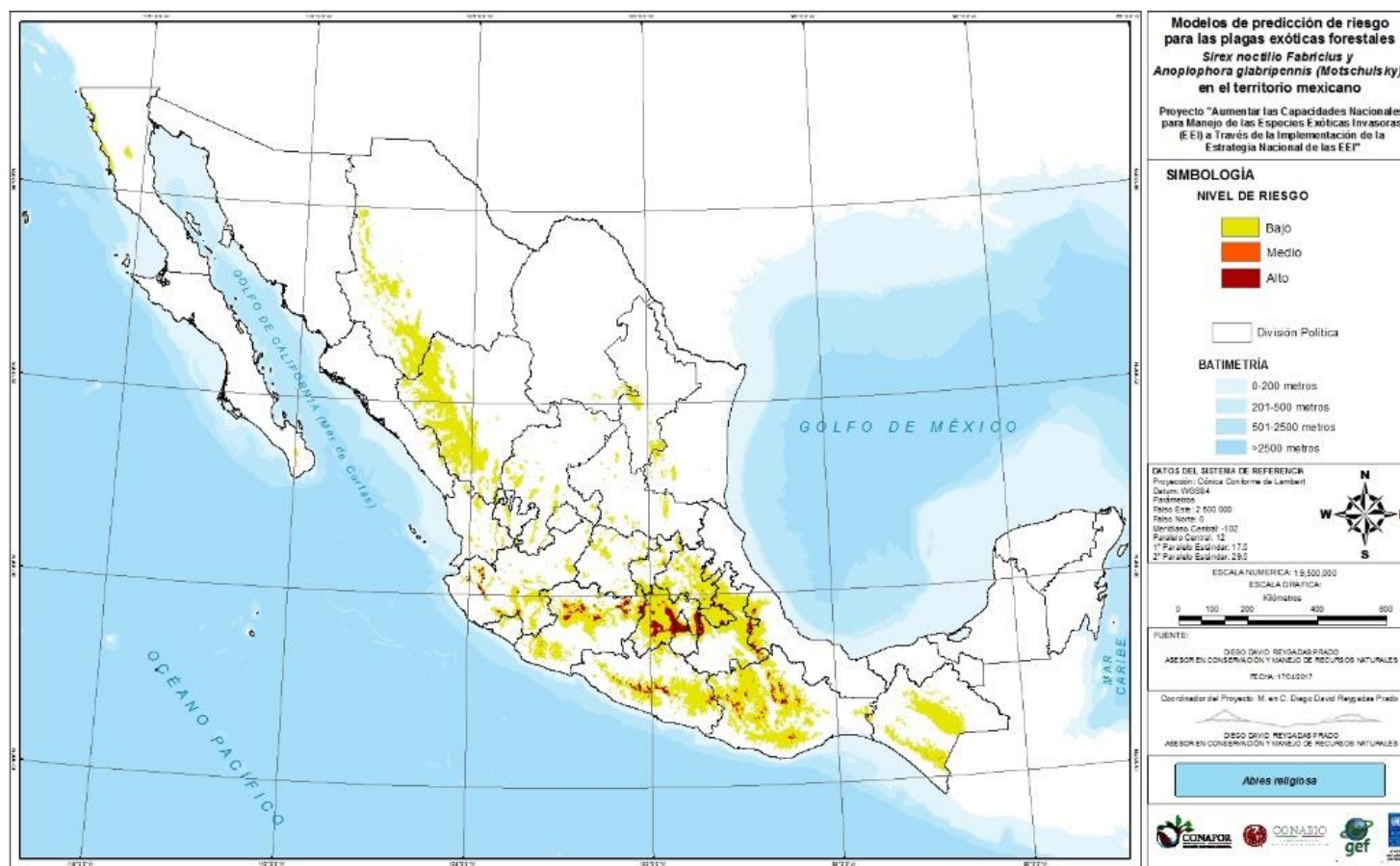


Figura 22. Mapa de riesgo para *Abies religiosa* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

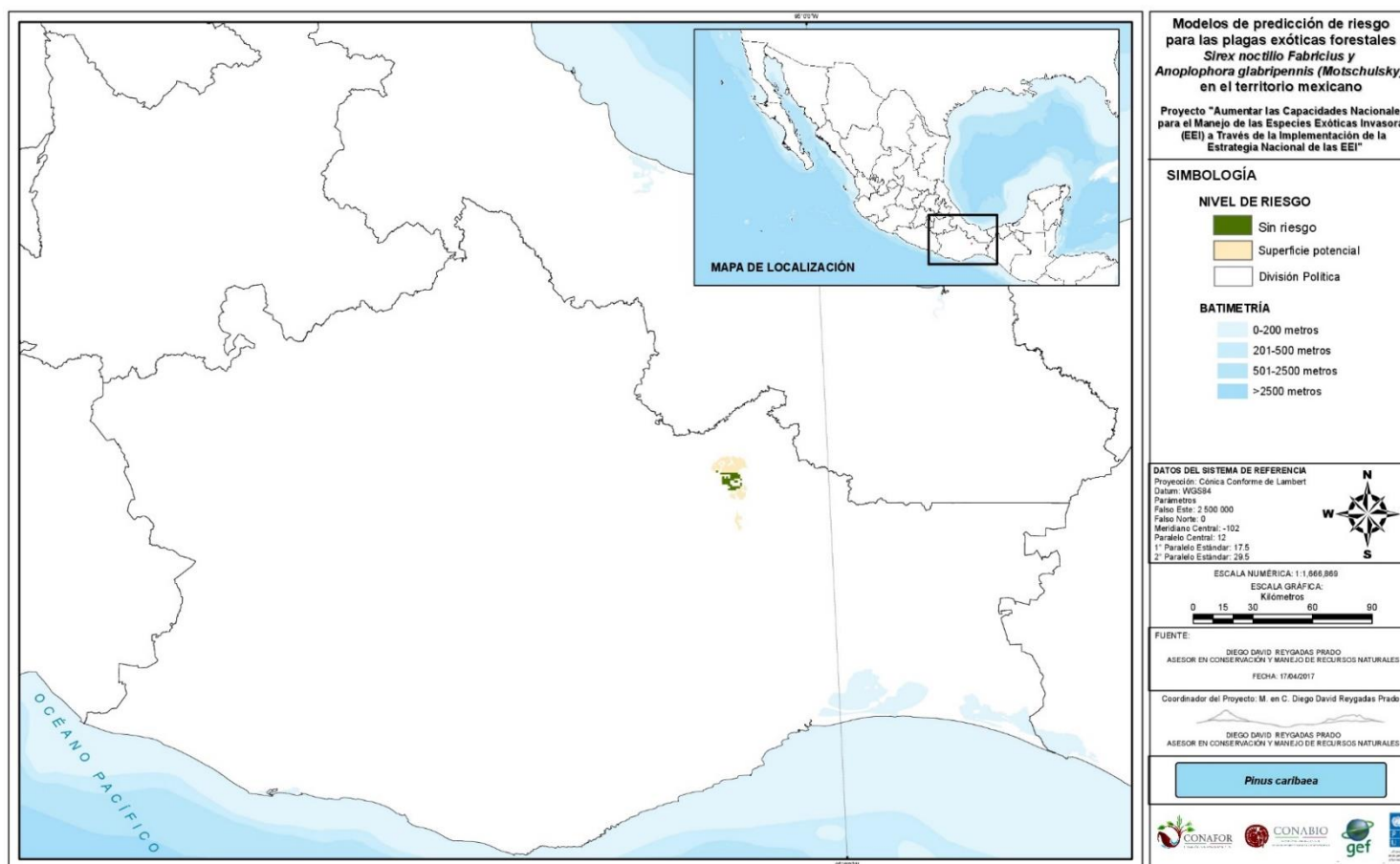


Figura 23. Mapa de riesgo para *Pinus caribaea* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

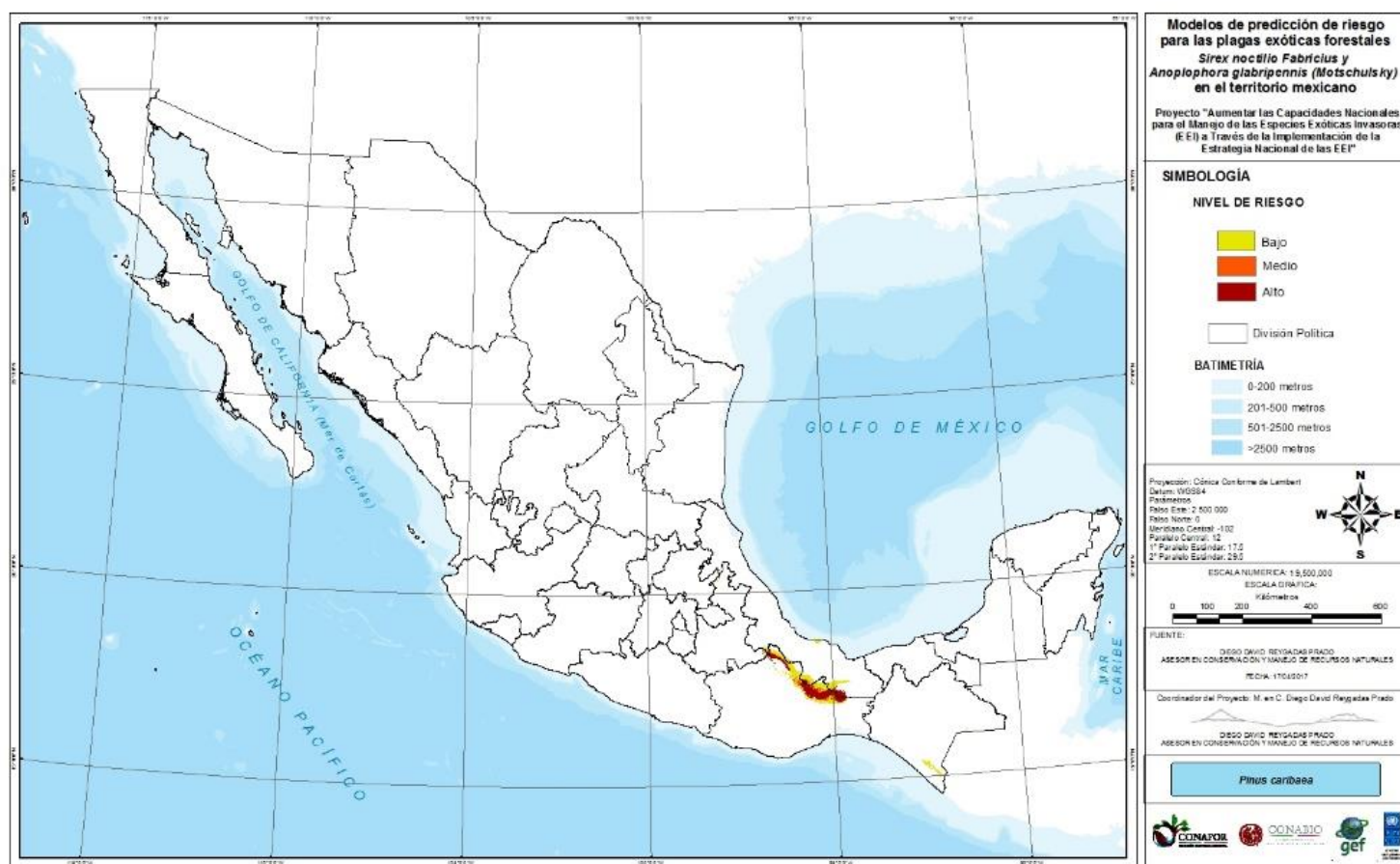


Figura 24. Mapa de riesgo para *Pinus caribaea* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

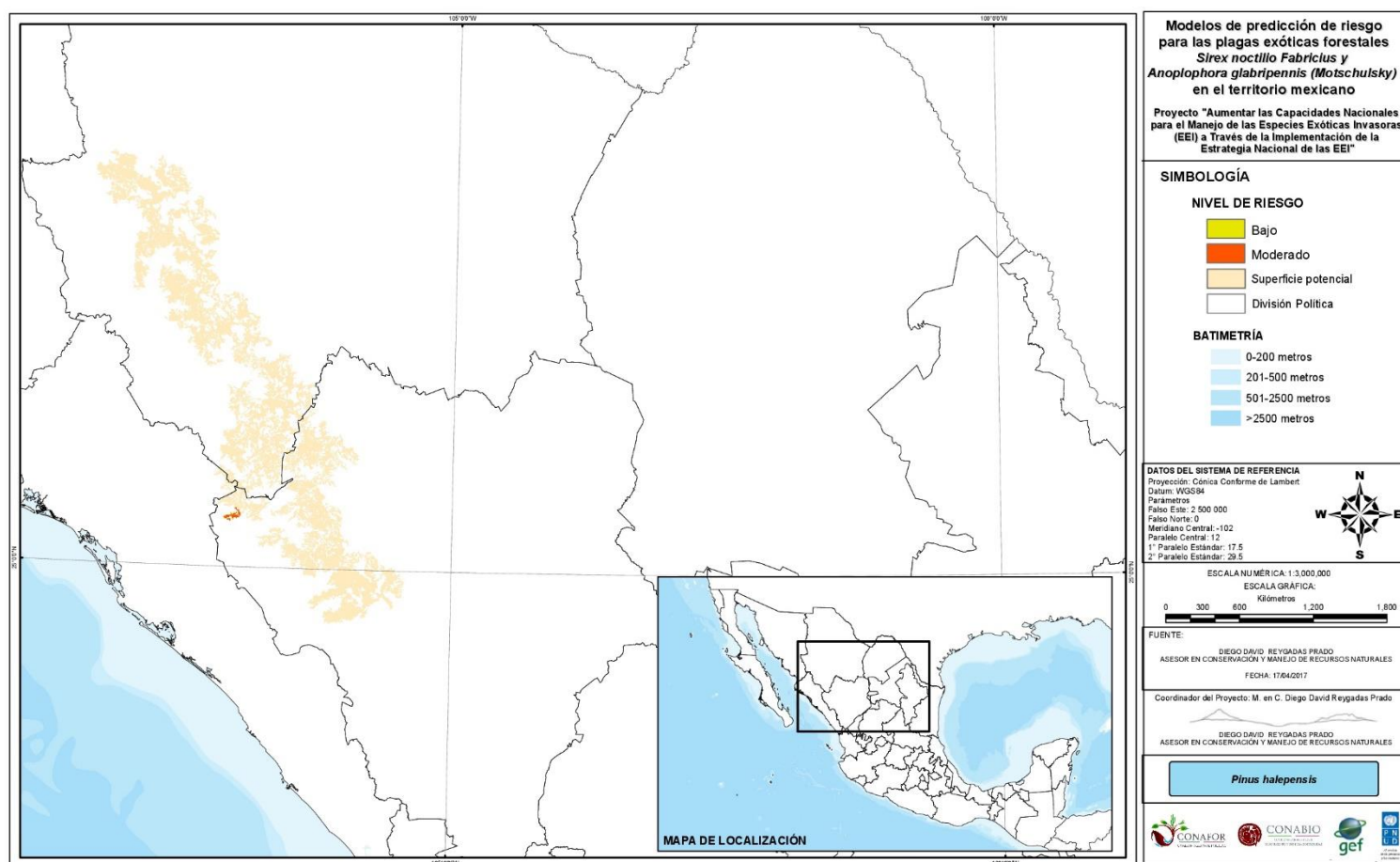


Figura 25. Mapa de riesgo para *Pinus halepensis* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

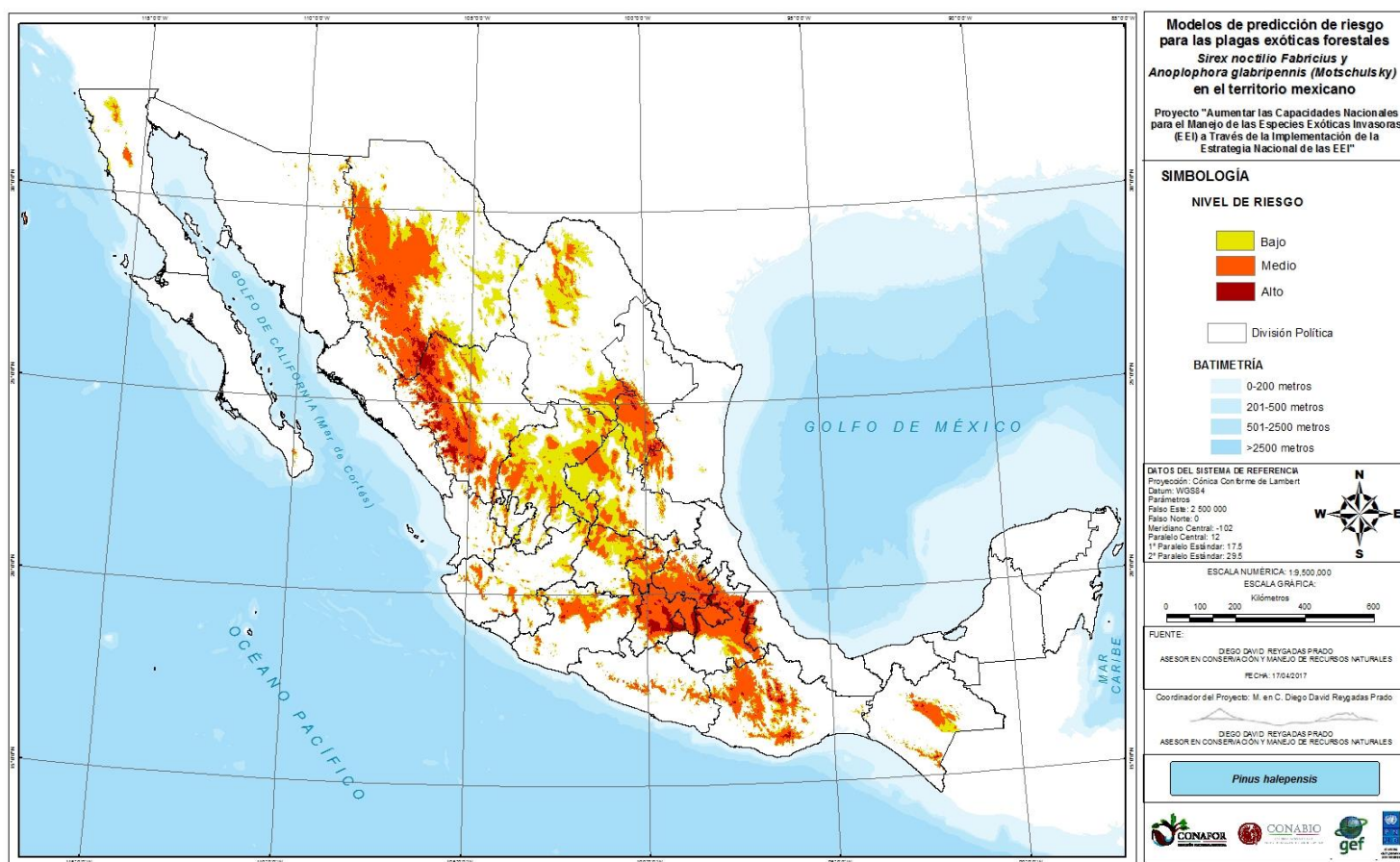


Figura 26. Mapa de riesgo para *Pinus halepensis* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

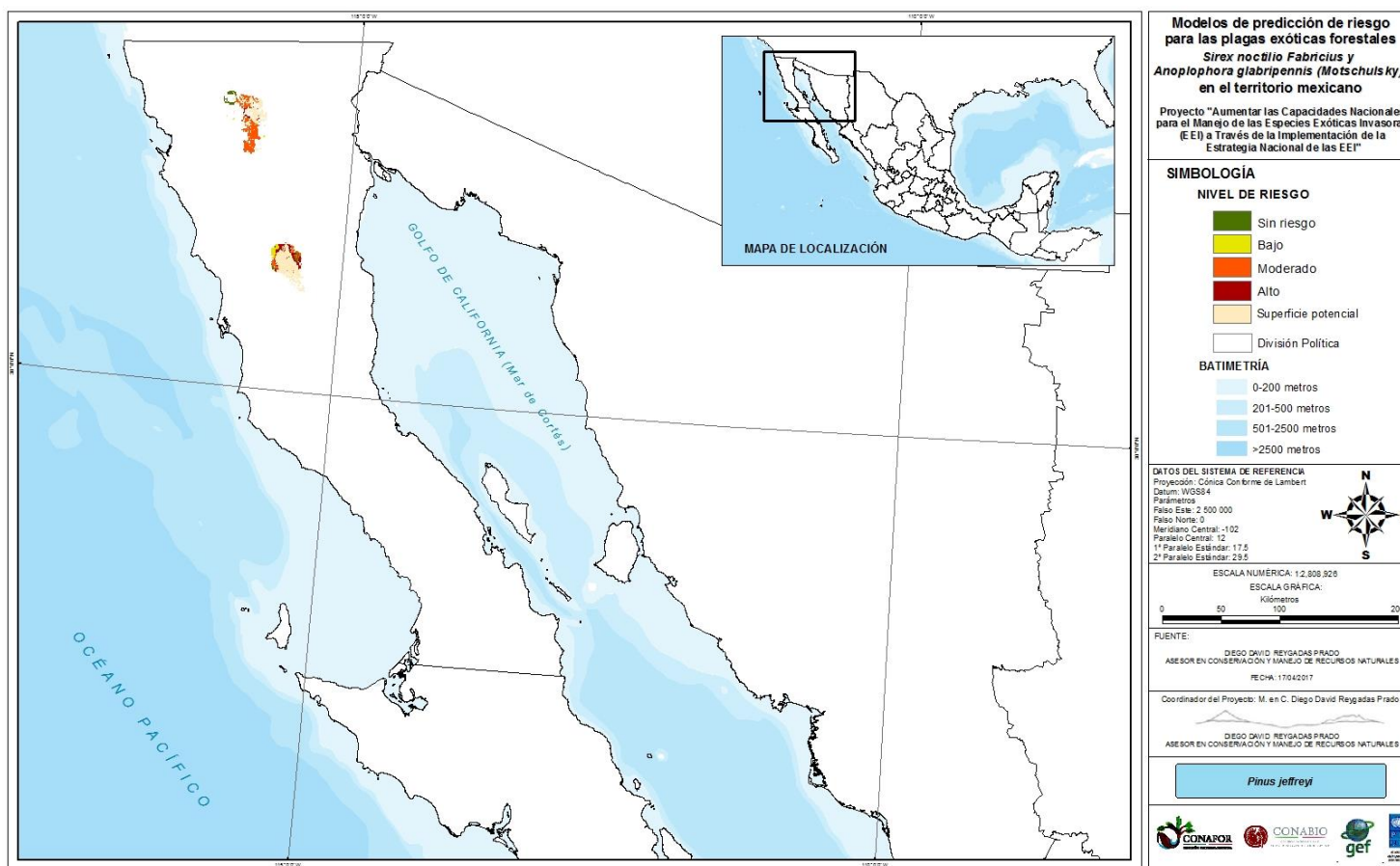


Figura 27. Mapa de riesgo para *Pinus jeffreyi* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

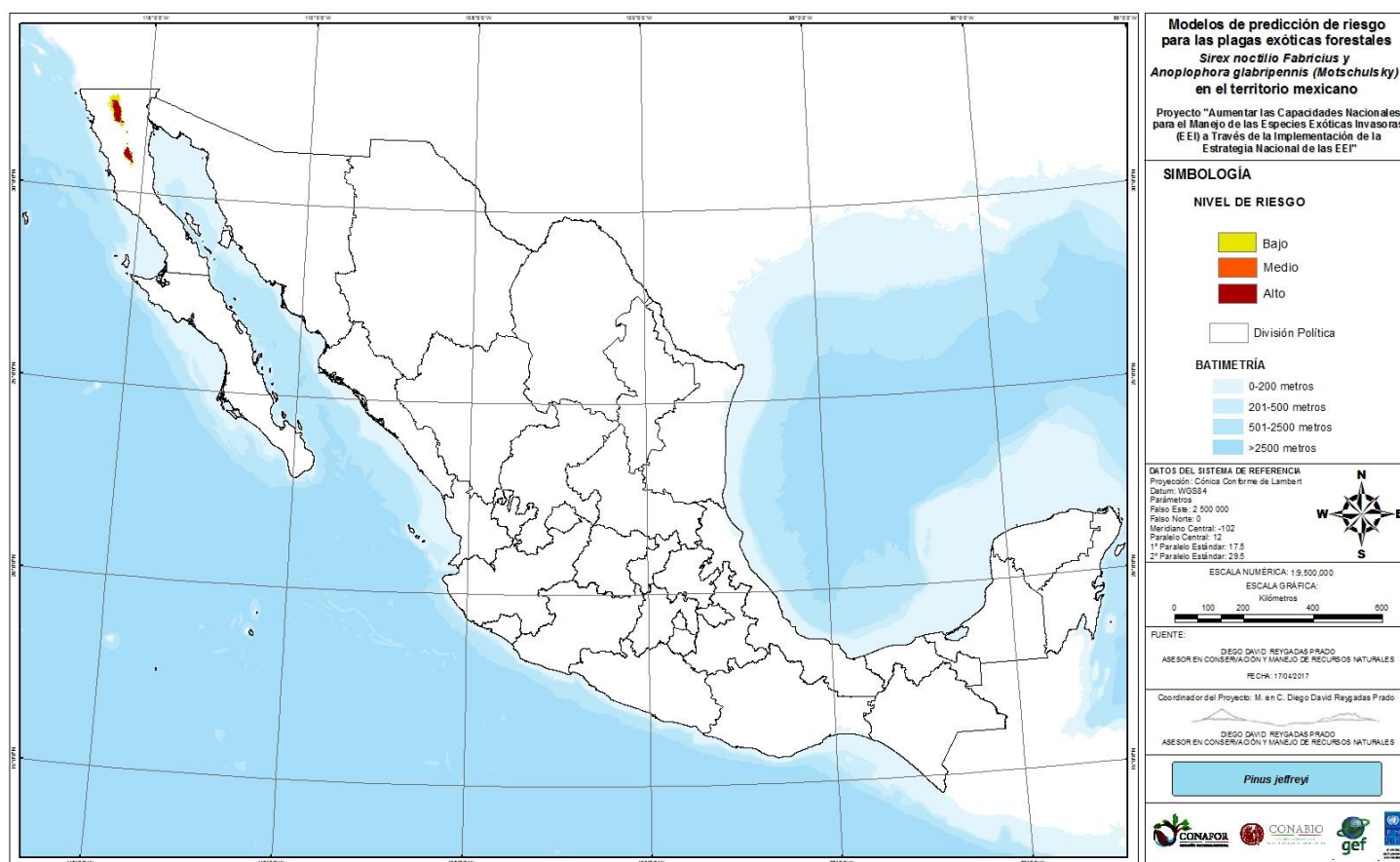


Figura 28. Mapa de riesgo para *Pinus jeffreyi* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

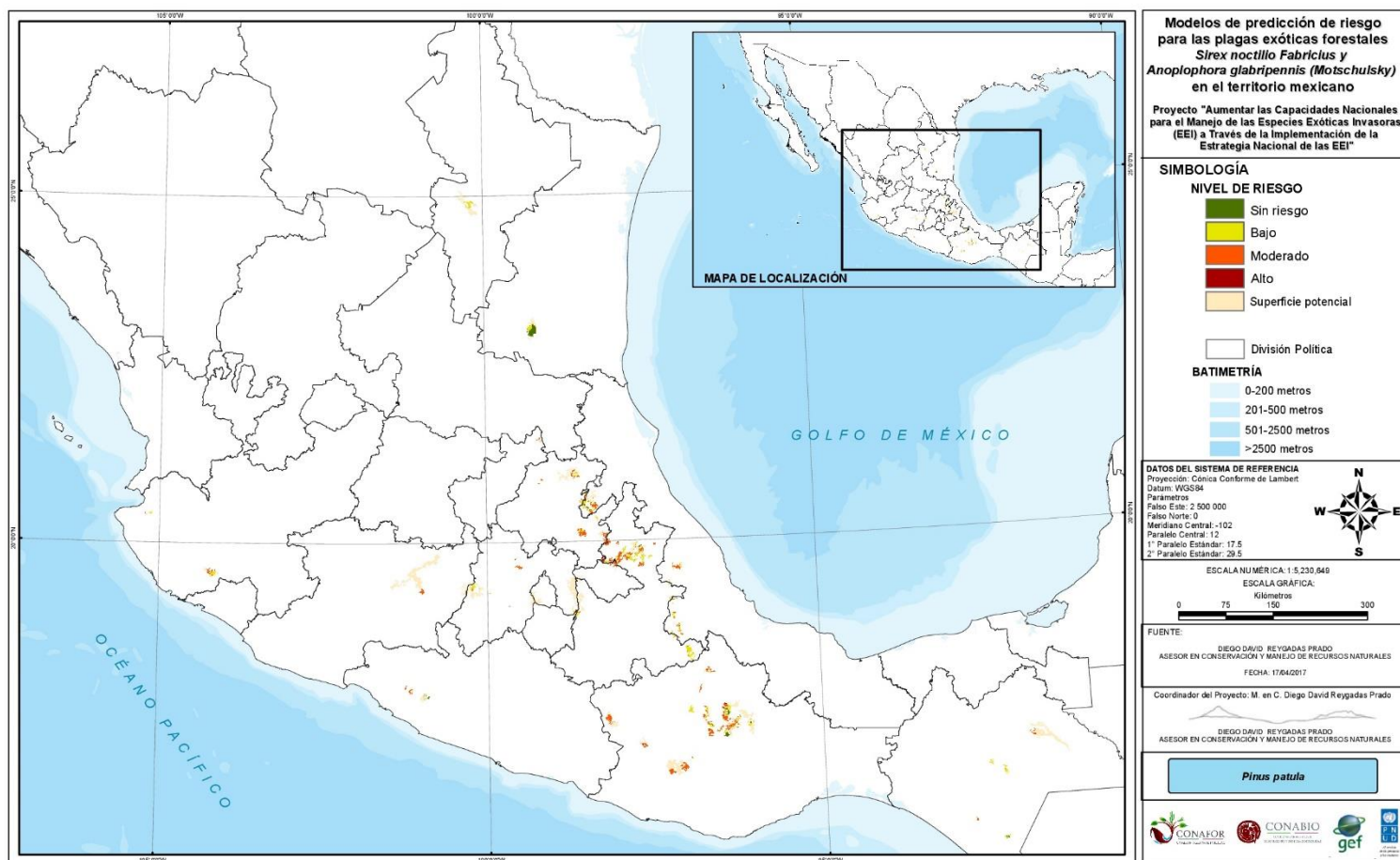


Figura 29. Mapa de riesgo para *Pinus patula* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

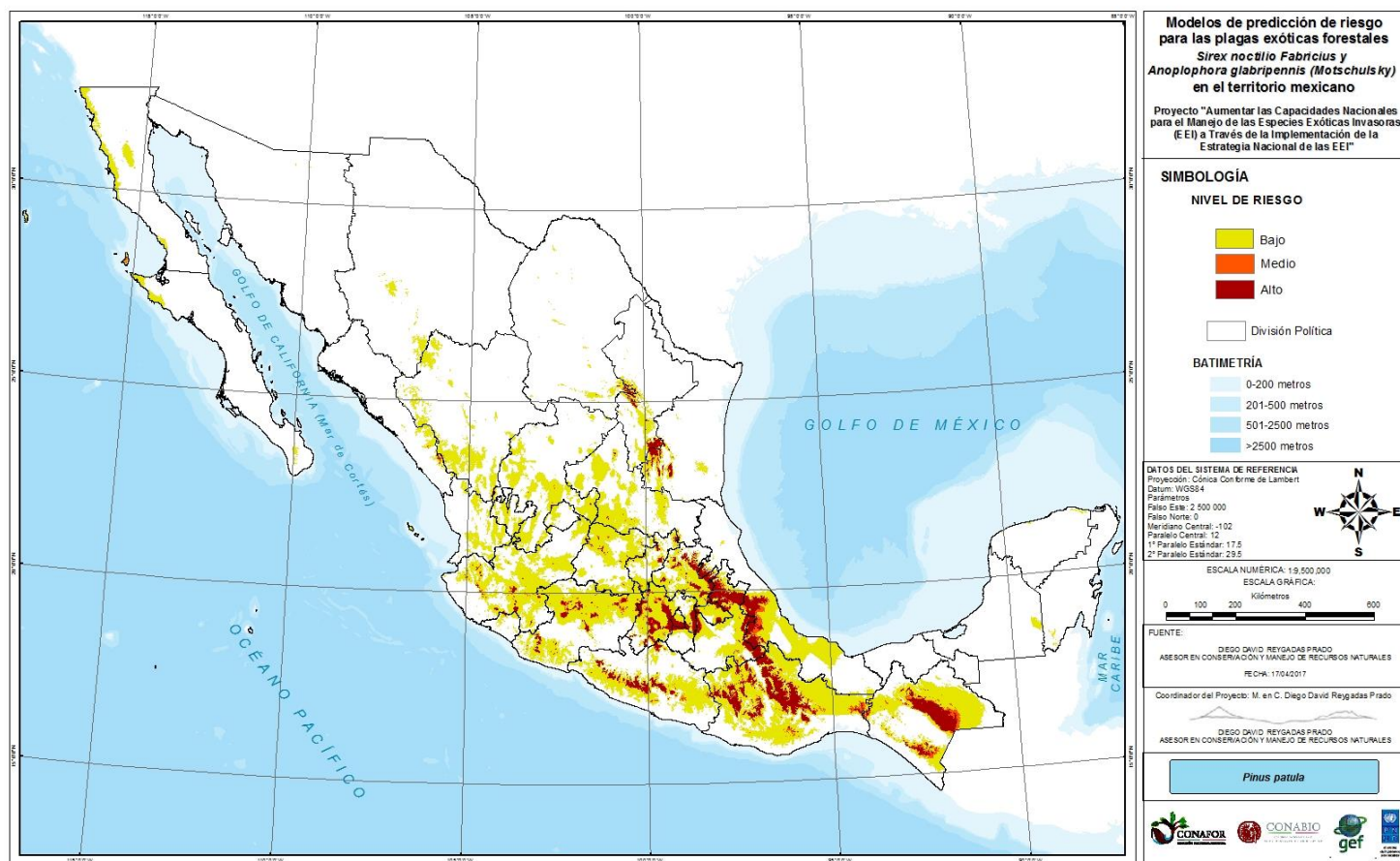


Figura 30. Mapa de riesgo para *Pinus patula* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

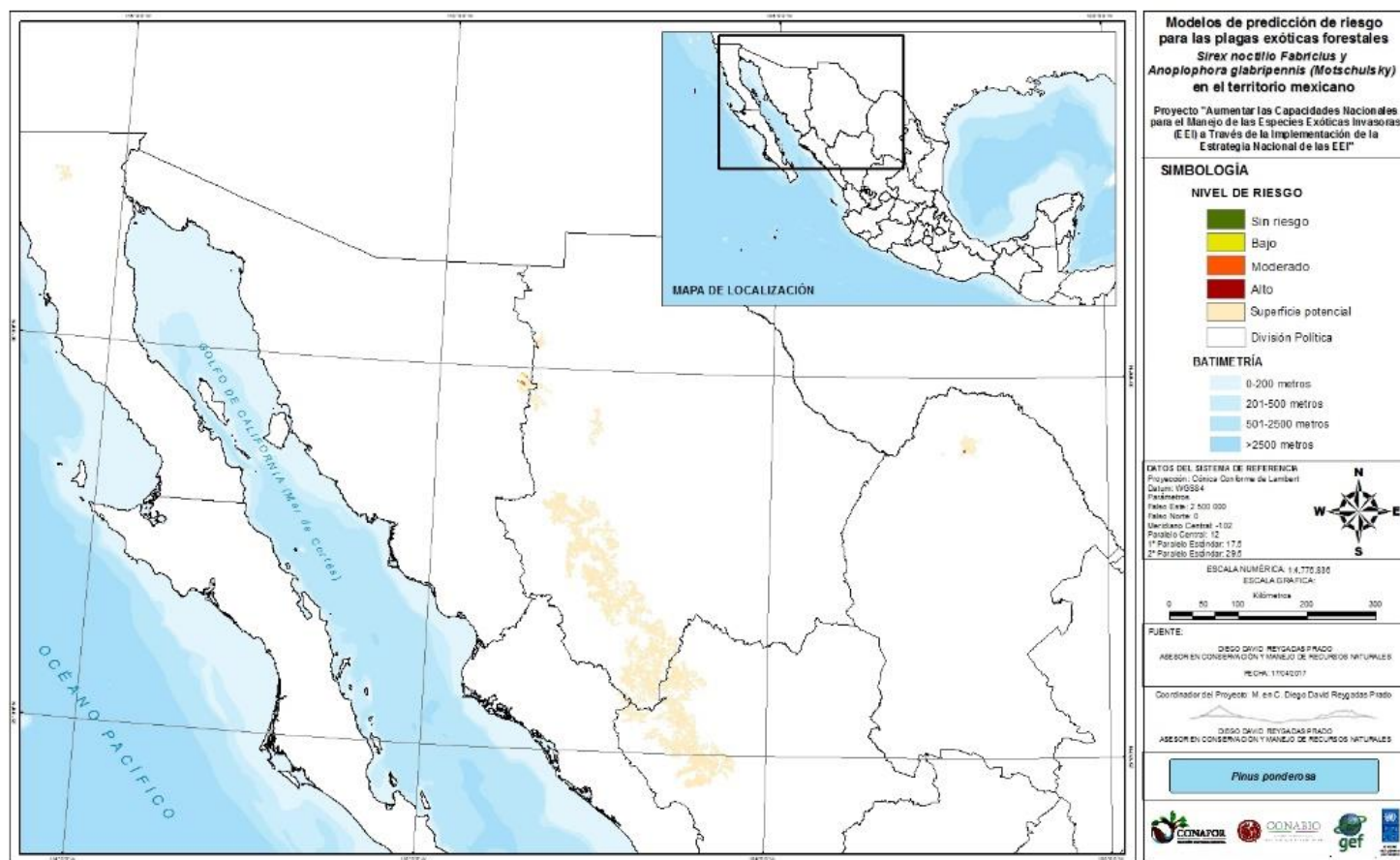


Figura 31. Mapa de riesgo para *Pinus ponderosa* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

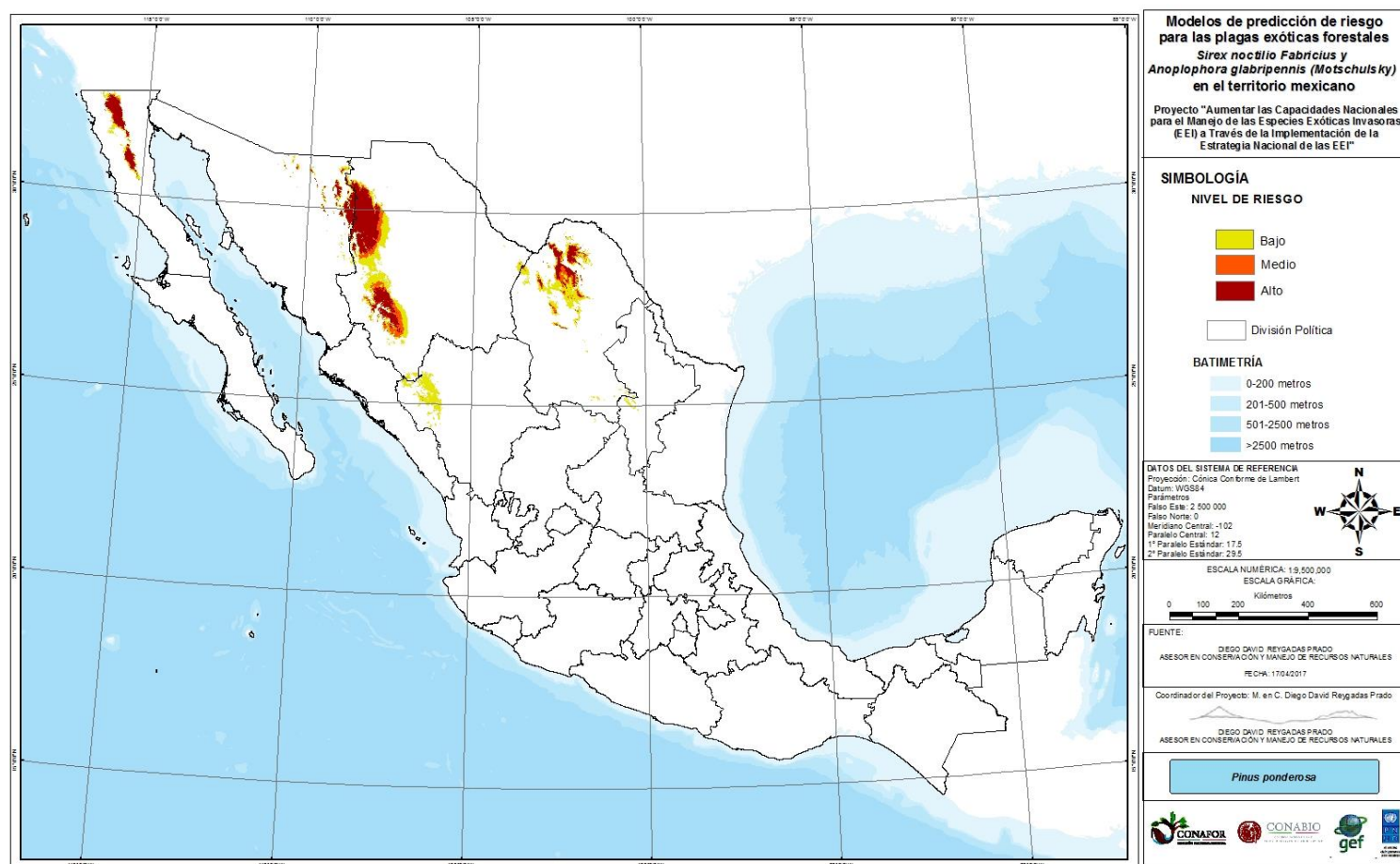


Figura 32. Mapa de riesgo para *Pinus ponderosa* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

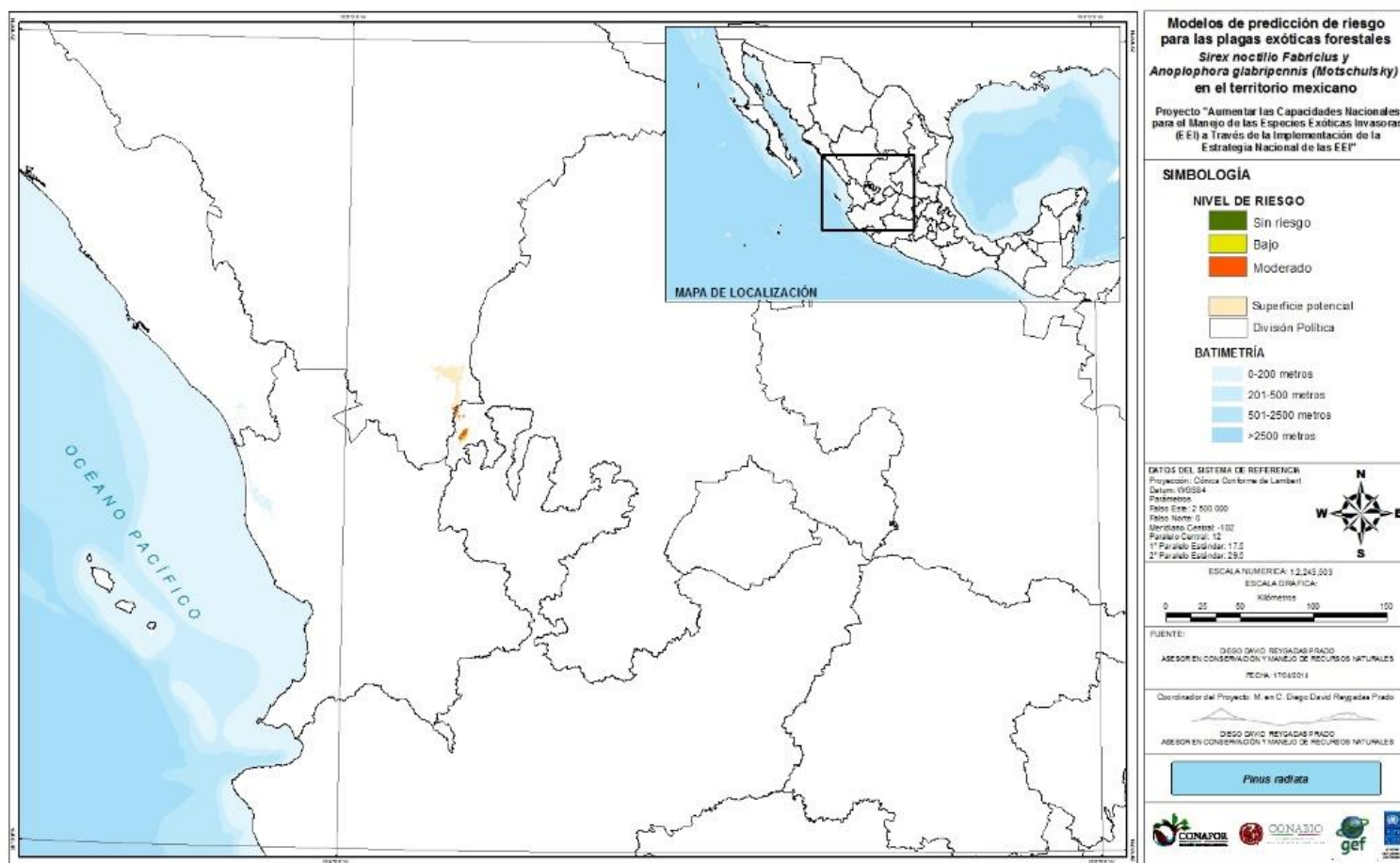


Figura 33. Mapa de riesgo para *Pinus radiata* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

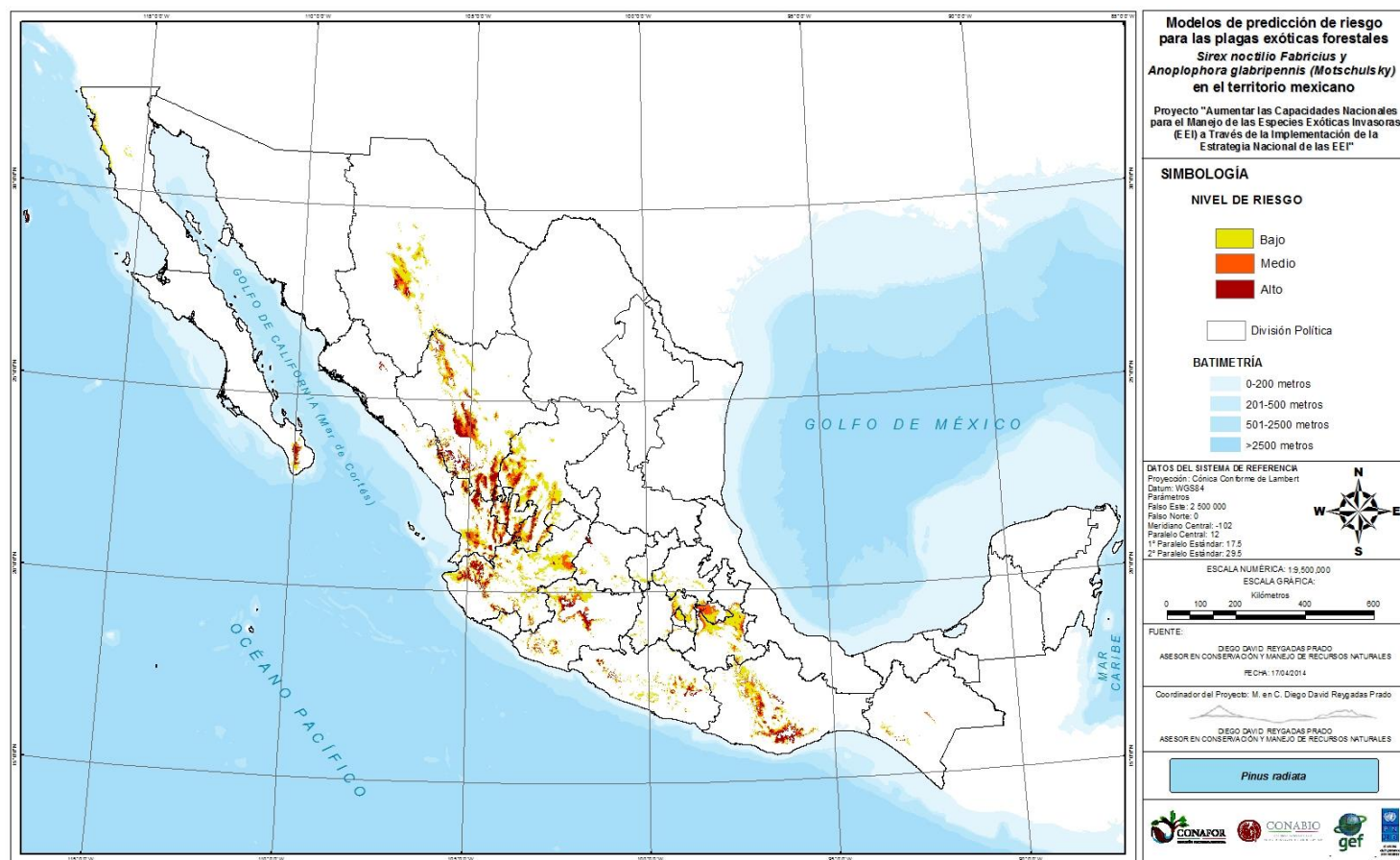


Figura 33. Mapa de riesgo para *Pinus radiata* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

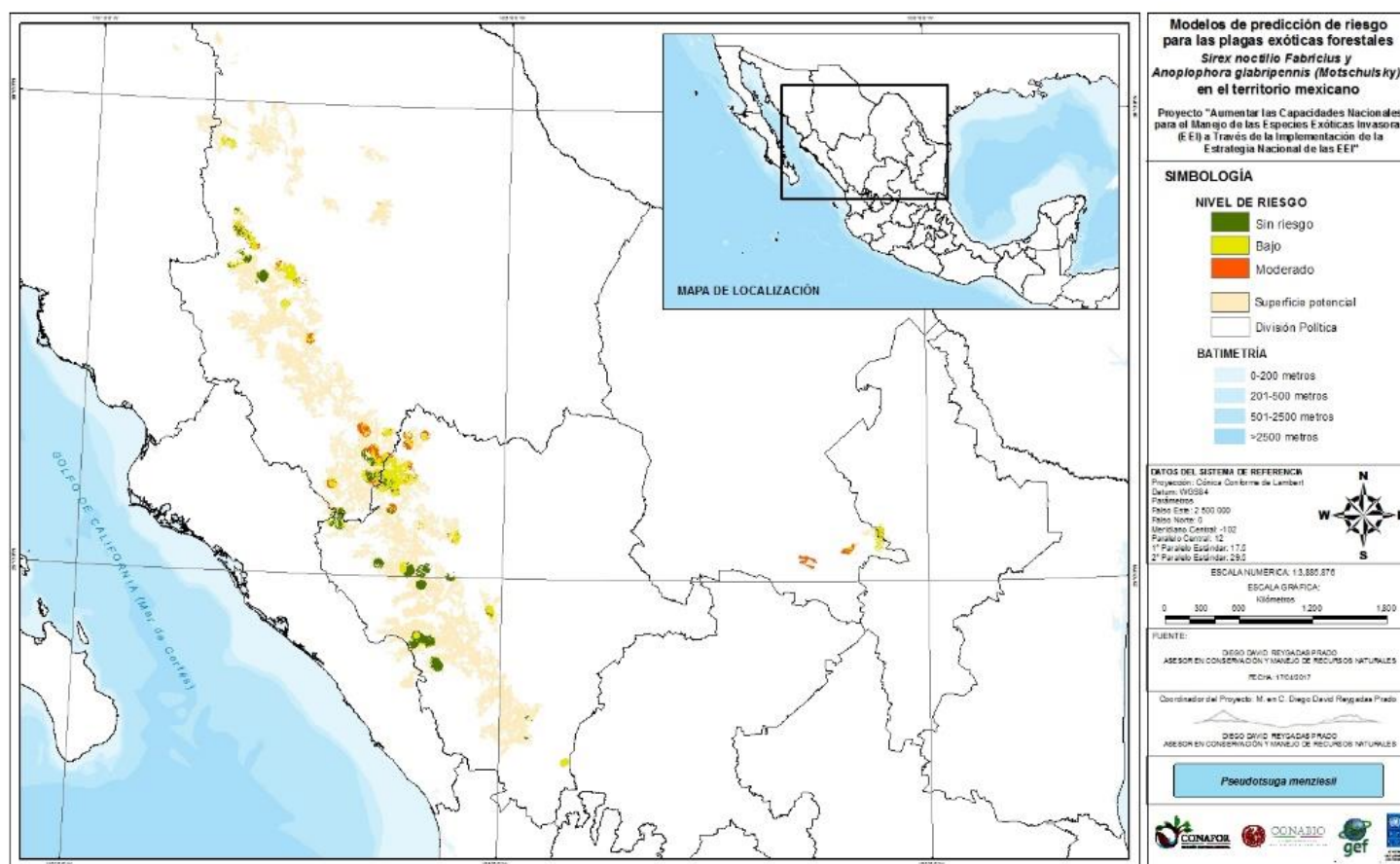


Figura 34. Mapa de riesgo para *Pseudotsuga menziesii* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

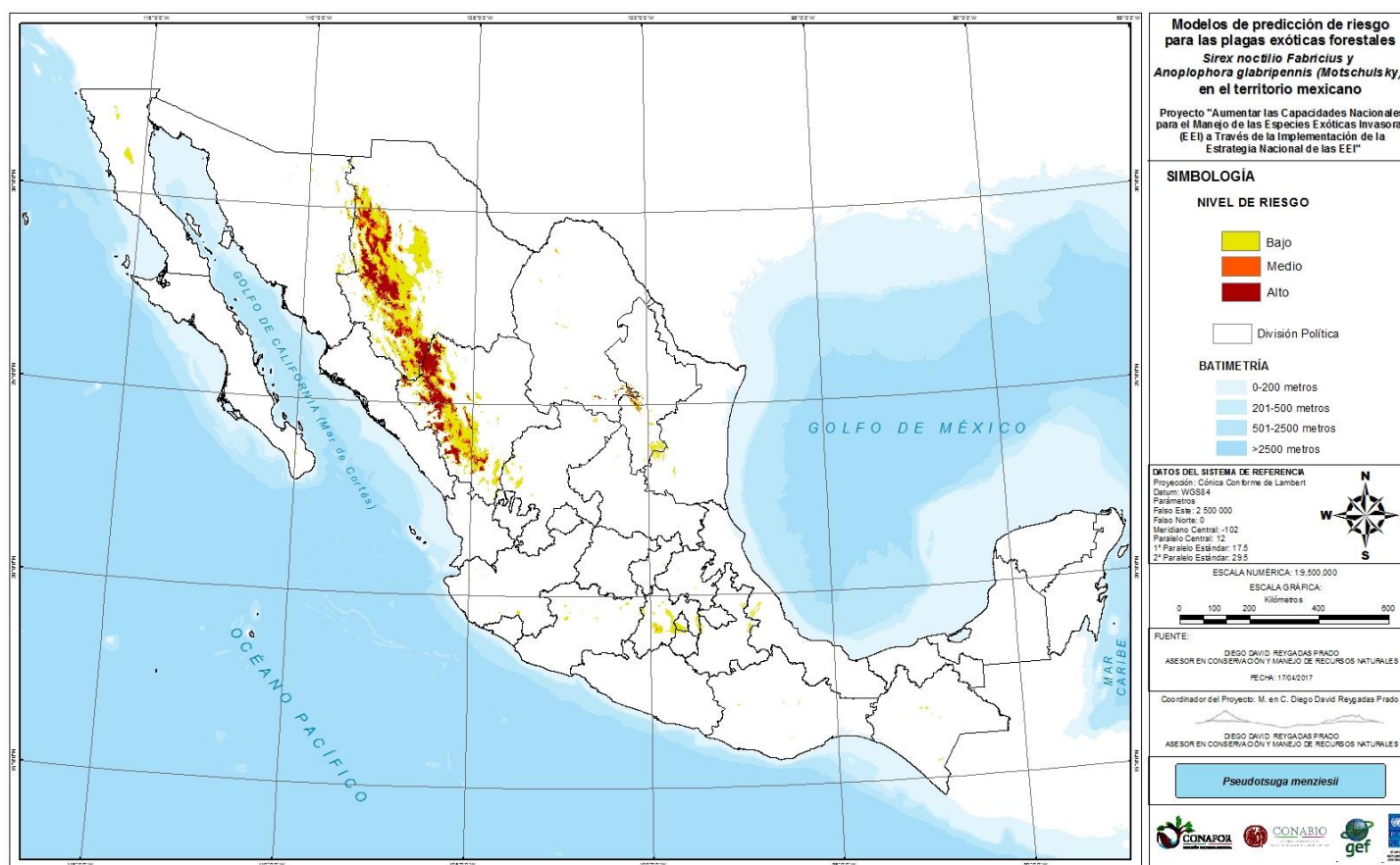


Figura 35. Mapa de riesgo para *Pseudotsuga menziesii* (MaxEnt)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Por último, en la Figura 37 se muestra la distribución de las áreas potenciales de riesgo basadas en todos los hospederos considerados en el presente trabajo para el caso del modelado con Model Builder.

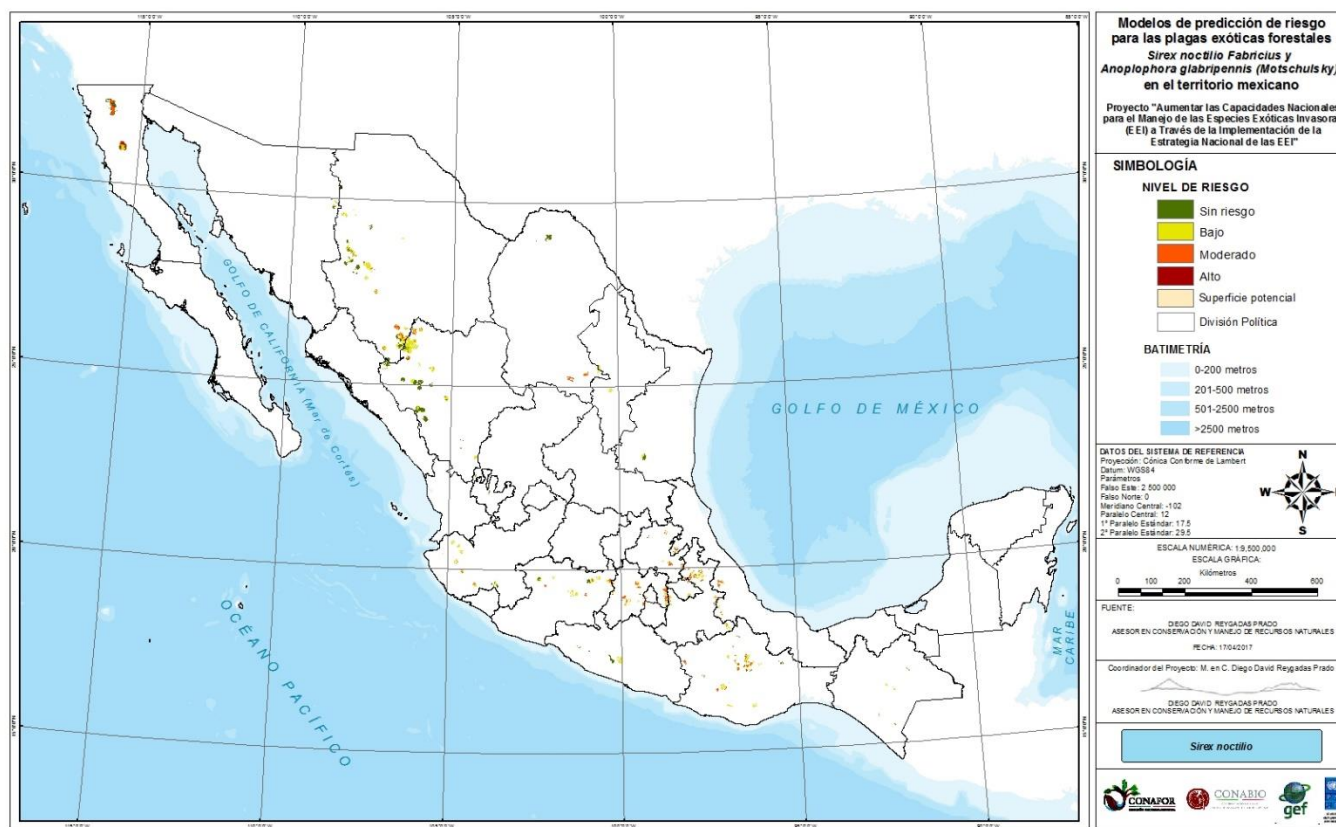


Figura 36. Mapa de riesgo para *Sirex Noctilio* (Model Builder)

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el caso de los resultados obtenidos mediante el método de multicriterio los niveles de riesgo son más acotados y en general se localizan en las escalas de bajo y moderado, lo cual se considera es debido a las variables de tipo dasométrico que incluye en el modelado y que en la mayoría de los casos no contaron con suficiente información y la misma se concentra en diámetros normales por arriba de los 30 centímetros y número de árboles por hectárea menores a 500.

Aunado a lo anterior para este modelado los rangos ambientales establecidos para las especies de pinos son en general amplios, discriminando el número de pixeles en donde los hospederos de este género se encuentran en potenciales niveles de estrés que induzcan a niveles de riesgo más elevados.

Estos aspectos sumados a las ponderaciones que se asumieron para cada variable utilizada, producto de las condiciones que favorecen el desarrollo de *Sirex noctilio*, incrementaron el nivel discriminación de áreas con mayor nivel de riesgo, en especial las ponderaciones empleadas para obtener la susceptibilidad y esta misma variable en contraste con la vulnerabilidad a la que se les asignaron pesos de 60 y 40% respectivamente, toda vez que una vez que se *Sirex noctilio* ataca al arbolado el control debe ser inmediato pues de otra forma dispersión y muerte de individuos en un rodal es elevada, con lo que conocer valorar la susceptibilidad y sus correspondiente valor dentro del modelado y la correspondiente respuesta espacial cobra más peso que la vulnerabilidad.

Si bien los rangos de riesgo son elevados en términos generales, la superficie potencial puede acrecentarse si se toma en cuenta la co-existencia de muchos de los hospederos seleccionados con otras especies de pinos, debido a que la plaga de *Sirex noctilio* ataca especialmente a pinos de edades jóvenes.

Respecto a los resultados del modelado con MaxEnt, los niveles de riesgo son similares a los obtenidos con el método multicriterio, pero con localización en áreas más extensas, debido a que este método solo considera variables ambientales y dada la amplitud de valores que éstas tienen en nuestro territorio derivado de la orografía y la latitud, la cantidad de áreas se incrementa.

Respecto a la contribución relativa de las variables ambientales en la predicción de los modelos para cada especie mediante el modelado con MaxEnt, ésta se muestra en la Tabla 13.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Tabla 13. Contribución de las variables ambientales al modelado con MaxEnt

Especie	Contribución por variable ambiental (porcentaje)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Abies concolor</i>	77.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.87	0.60	5.47	0.00	0.00	0.00	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00	2.22
<i>Abies religiosa</i>	0.00	3.71	0.00	16.88	25.37	0.00	0.00	2.63	0.00	46.56	0.00	1.62	0.00	0.00	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pinus radiata</i>	0.00	1.83	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.75	0.00	0.00	0.00	0.00	3.17	0.00	46.41	4.95	3.53
<i>Pinus patula</i>	0.00	2.92	2.56	3.07	54.90	0.00	26.01	0.56	0.00	8.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82
<i>Pinus caribaea</i>	0.00	0.00	14.99	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.95	8.60	1.10	0.00	0.00	13.36	0.00
<i>Pinus halepensis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	21.76	16.00	0.00	0.00	0.00	61.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pinus jeffreyi</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.27	1.17	0.00	0.00	0.00	4.34	0.00	0.00	0.00	4.34	0.00	2.26
<i>Pinus ponderosa</i>	12.34	3.06	0.00	36.06	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00	23.47	7.09	0.00	0.00	4.56	4.36	0.00	7.60	0.00	0.00
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	64.47	0.24	0.50	5.13	0.95	0.22	0.84	1.73	0.41	15.24	1.62	0.00	0.02	0.24	0.42	0.05	0.01	7.89	0.02

1. Temperatura media anual, 2. Rango de temperatura media diurna, 3. Isotermalidad, 4. Estacionalidad de temperatura, 5. Temperatura máxima del mes más cálido, 6. Temperatura mínima del mes más frío, 7. Rango de temperatura anual, 8. Temperatura media del trimestre más húmedo, 9. Temperatura media del trimestre más seco, 10. Temperatura media del trimestre más cálido, 11. Temperatura media del trimestre más frío, 12. Precipitación anual, 13. Precipitación del mes más húmedo, 14. Precipitación del mes más seco, 15. Estacionalidad de precipitaciones, 16. Precipitación del trimestre más húmedo, 17. Precipitación del trimestre más seco, 18. Precipitación del trimestre más cálido, 19. Precipitación del trimestre más frío.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano"

La contribución por variable ambiental en diversa, resaltando la importancia de modelar de inicio con todas éstas para la posterior discriminación de aquellas que menos aportan al resultado del modelado, con la finalidad de mejorar el desempeño del resultado para cada modelo.

En tanto que, la medida de desempeño de cada modelo obtenida a través de la curva ROC para los hospederos mostró un desempeño excelente (rango de 0.90 a 1) para ocho de los nueve hospederos, siendo el desempeño del modelo para *Pinus halepensis* bueno al ubicarse en el rango de 0.80-0.90 de acuerdo con Araújo y Guisan (2006) mencionado en el apartado de mapas. La Tabla 14 muestra los valores de la curva de ROC para cada uno de los modelos generados por hospedante.

Tabla 14. Valores de la curva ROC obtenidos en los modelos con MaxEnt

Especie	Valor de la curva de ROC	Interpretación de la curva ROC
Abies concolor	0.9947	Excelente
Abies religiosa	0.9918	Excelente
Pinus radiata	0.994	Excelente
Pinus patula	0.9868	Excelente
Pinus caribaea	0.999	Excelente
Pinus halepensis	0.8627	Bueno
Pinus jeffreyi	0.9988	Excelente
Pinus ponderosa	0.997	Excelente
Pseudotsuga menziesii	0.9903	Excelente

Estos resultados indican que el modelado fue apropiado y se recomienda que en futuras modelaciones se eliminen las variables que no contribuyen al resultado del modelado, sin embargo, que es posible que se tenga poca contribución con esta discriminación de variables ambientales por el elevado nivel de desempeño de todos los modelos. De igual manera se recomienda se incluyan variables de tipo biofísico como altitud y tipo de suelos que requieren los hospederos para su desarrollo.

No obstante, hay una coincidencia importante en la distribución general de cada nivel de riesgo obtenida con ambos métodos, lo cual da certeza de los procesos de modelado.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de la superficie por nivel de riesgo para los hospederos de *Sirex noctilio*.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Tabla 15. Superficie por nivel de riesgo estimada para los hospederos de *Sirex noctilio*

Especie hospedante	Niveles de riesgo				Total
	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	
<i>Abies concolor</i>	16433.14056	0	0	0	16433.14056
<i>Abies religiosa</i>	225234.6162	106995.352	864.0380859	0	333094.0062
<i>Pinus caribaea</i>	0	0	0	0	0
<i>Pinus halepensis</i>	572.0489502	5046.239274	0	0	5618.288224
<i>Pinus jeffreyi</i>	5673.546285	60322.62738	28102.79419	0	94098.96785
<i>Pinus patula</i>	108416.6215	159893.412	4349.654666	0	272659.6882
<i>Pinus ponderosa</i>	2580.588686	4260.352301	100	0	6940.940988
<i>Pinus radiata</i>	509.9885233	3323.98556	0	0	3833.974084
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	360865.0106	97326.09017	0	0	458191.1008
Total	720285.5613	437168.0587	33416.48694	0	1190870.107

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los pocos datos disponibles de diámetros normales de dimensiones por debajo de los 30 centímetros y el número de árboles por hectárea reducido- esto es, por debajo de los 400 árboles por hectárea- propiciaron que los niveles de riesgo fueran bajos, por lo que es importante conocer el comportamiento de los datos de regeneración del Inventario Nacional Forestal y de Suelos y su posible consideración en el modelado.

Para las especies con un amplio rango de distribución la superficie con mayor nivel de riesgo deberá ser monitoreada a fin de contar con una alerta temprana y establecimiento oportuna de medidas de control.

Para las especies con un amplio rango de distribución se tendrá que tener mayor cuidado en los métodos de control, mientras que aquellas con distribución restringida se deberá intensificar el monitoreo a fin de evitar su infestación y pérdida de un número importante de arbolado, en especial si cuentan con individuos jóvenes.

Es recomendable que se capacite al personal de la CONAFOR que realiza el monitoreo, así como a los manejadores y dueños de bosques en procesos de aprovechamiento acerca de este agente causal, ya que el control puede resultar costoso.

La capacitación debe implementarse en especial en áreas en donde se tienen plantaciones comerciales pues son las que por su poca mezcla de especies son más susceptibles a tener mayor afectación, recomendándose revisar la disponibilidad de esta información en la Comisión Nacional

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Forestal y, en su caso, establecer convenios de colaboración con los dueños de las plantaciones forestales comerciales a fin de contar con datos que permitan el modelado para este tipo de áreas.

Los dos modelos son útiles para establecer niveles de riesgo y, en ambos casos, en contar con más información de la distribución y condiciones de los hospederos mejorará las predicciones, por lo que contar con información de calidad y cantidad del inventario nacional forestal es de vital importancia para este tipo de trabajos.

Se recomienda contar con datos de diámetros normales y número de árboles por hectárea y su correspondiente ubicación para las plantaciones forestales comerciales para su modelado, ya que éstas pueden ser áreas con niveles de riesgo elevados.

Se recomienda emplear los resultados de MaxEnt como áreas de distribución potencial ponderadas dentro del contexto del modelado con el método de multicriterio.

A continuación, se establecen conclusiones para cada especie modelada mediante el método de análisis multicriterio, prescindiendo de las mismas en el caso del modelado con MaxEnt debido a los resultados un tanto generales obtenidos mediante este método.

El nivel de riesgo obtenido del proceso de análisis multicriterio mediante Model Builder, para ***Abies concolor***, es bajo con una superficie de 16,433.14 hectáreas distribuidas en 2 estados de la República (Baja California y Chihuahua) lo que le confiere un nivel de importancia de baja prioridad. Sin embargo, dada la cercanía con La garita de San Ysidrio y Otay en la ciudad de Tijuana en la frontera con Estados Unidos se deberá de dar especial atención en los programas de monitoreo y alerta temprana en el Estado de Baja California, en particular debido a lo observado durante la visita a esta entidad respecto del poco control sobre la internación de maderas de embalaje.

Referente a la especie de ***Abies religiosa*** los niveles de riesgo obtenidos del proceso de análisis multicriterio mediante Model Builder son correspondientes a bajo, moderado y alto con una superficie de 225,234.61; 106,995.35 y 864.03 hectáreas respectivamente. Estas áreas se distribuyen en los estados de Jalisco, Michoacán, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Ciudad de México, Veracruz, Puebla, Guerrero y Oaxaca lo que le confiere un nivel de importancia de moderada a alta prioridad. Dado lo anterior se recomienda tener especial atención en el monitoreo y alerta temprana de las zonas forestales aledañas a la Ciudad de México y el Estado de México debido al volumen de tarimas de madera que llegan a la Estación de Pantaco en la Ciudad de México.

En el caso de ***Pinus caribaea*** no se obtuvieron niveles de riesgo, mientras que para ***Pinus halepensis*** el riesgo derivado del modelado con análisis multicriterio mediante Model Builder corresponde a los niveles bajo y moderado, con superficies de 572.04 y 5,046.23 hectáreas respectivamente. Dichos niveles de riesgo están distribuidos en el Estado de Durango,

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

considerándose que la importancia de este hospedero como factor de riesgo de ataque de *Sirex noctilio* es baja, toda vez que en la zona donde se localizan las áreas potenciales de riesgo son zonas productoras de madera y el consumo de madera aserrada o de embalaje externo no se realiza.

Por lo que respecta a *Pinus jeffreyi*, los niveles de riesgo obtenidos mediante Model Builder son: bajo, moderado y alto. Para dichos niveles se obtuvieron 5,673.54; 60,322.62 y 28,102.79 hectáreas para los niveles bajo, moderado y alto respectivamente. Tales niveles de riesgo se localizan en el Estado de Baja California y al igual que para *Abies concolor*, se deberá dar especial atención en los programas de monitoreo y alerta temprana dada la cercanía con La garita de San Ysidrio y Otay en la ciudad de Tijuana en la frontera con Estados Unidos, toda vez que en esta ciudad se tiene el segundo y tercer lugar en importaciones de madera de embalaje (tarimas) y madera aserrada respectivamente, aunado a lo comentado de forma particular debido a lo observado durante la visita a esta entidad respecto del poco control sobre la internación de maderas de embalaje.

Los niveles de riesgo obtenidos con el método de análisis multicriterio para *Pinus patula* fueron bajo, moderado y alto, con superficies de 108,406.62; 159,893.41 y 4,349.65 hectáreas respectivamente y con distribución en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. El nivel de riesgo alto se localiza en los estados de Puebla, Hidalgo y Oaxaca y dada la amplitud de su rango de distribución se considera que el nivel de importancia de este hospedero con relación al ataque de *Sirex noctilio* es moderado a alto, por lo que se deberá de dar especial atención en los programas de monitoreo y alerta temprana.

Por cuanto a *Pinus ponderosa* se refiere, los niveles de riesgo obtenidos con el método de análisis multicriterio fueron bajo, moderado y alto, con superficies de 2,580.58; 4,260.35 y 100.00 hectáreas respectivamente. Dichas superficies se localizan en los estados de Sonora y Coahuila y dado lo localizado de su distribución y superficies en general pequeñas se considera dentro de un nivel de importancia moderado. No obstante, se deberá considerar en los programas de monitoreo y alerta temprana, toda vez que la aduana de Piedras Negras en Coahuila tiene el tercer lugar de importaciones de madera de embalaje (tarimas), las cuales son revisadas con menor intensidad, en particular cuando se trata de madera tarimas usadas.

Pinus radiata mostró niveles de riesgo bajo y medio con superficies de 509.98 y 3,323.98 hectáreas respectivamente, distribuidas en los estados de Durango y Zacatecas. Basado en los aspectos anteriores, se considera que la importancia de este hospedero como factor de riesgo de ataque de *Sirex noctilio* es baja, toda vez que las áreas potenciales de riesgo están un tanto

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

retiradas de los puntos de ingreso de madera de embalaje y madera aserrada y la internación de estos productos hacia las áreas potenciales de riesgo se piensa es reducida.

Finalmente, para el caso de *Pseudotsuga menziesii* los niveles de riesgo obtenidos mediante análisis multicriterio son: Bajo y moderado con superficies de 360,865.01 y 97,326.09 hectáreas respectivamente. Estas áreas se localizan en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila y Nuevo León, concentrándose en los dos primeros estados. No obstante, que en las áreas de riesgo obtenidas es poco probable la internación de productos que pudieran llevar larvas de *Sirex noctilio* como lo es la madera aserrada y la madera de embalaje, se considera que el nivel de importancia de este hospedero en moderado por la cantidad de superficie con potencial de riesgo en los niveles mencionados, además de la utilización de esta especie en plantaciones forestales comerciales de árboles de navidad en la zona centro y occidente de nuestro país, mismas que pudieran ser susceptibles de ataque, en particular aquellas plantaciones que llegan a ser abandonadas o con poco manejo.

Por otra parte, la suma de todas las superficies con los distintos niveles de riesgo para todos los hospederos representa una superficie que, si bien no incrementa el nivel de riesgo en general, si motiva preocupación en el caso de establecimiento de *Sirex noctilio*, pues se obtuvieron superficies de 720,285.56 hectáreas con riesgo bajo; 437,168.05 hectáreas con riesgo moderado y 33,416.48 hectáreas con riesgo alto, distribuidas en 19 estados de la República Mexicana.

Los aspectos anteriores aunado a la presencia de otras plagas como los descortezadores complicaría el escenario de control de esta plaga, por lo que es importante señalar que se deberán establecer programas de capacitación para la identificación de estas especies exóticas, diseñar protocolos de control y combate, así como los canales de comunicación que permitan una rápida respuesta por parte de las dependencias responsables, ante una identificación positiva.

10. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, M. A. & Lanfranco, M. D. 1988. Aspectos biológicos y sintomatológicos de *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera-Siricidae). Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile. Bosque. 9(2): 87-91.

Botello, F., V. Sánchez-Cordero y M. A. Ortega-Huerta. 2015. Disponibilidad de hábitats adecuados para especies de mamíferos a escalas regional (estado de Guerrero) y nacional. México. Rev. Mex. Biodiv. vol.86 no.1.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Borchert, D., Fowler, G. & Jackson, L. 2007. Organism pest risk analysis: risks to the conterminous United States associated with the woodwasp, *Sirex noctilio* Fabricius, and the symbiotic fungus, *Amylostereum areolatum*, (Fries: Fries) Boidin. USDA-APHIS-PPQ-CPHST-PERAL. Rev.1.

Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI). 2014. Invasive Species Compendium. Fecha de actualización: 25 de mayo 2016.

<http://www.cabi.org/isc/datasheet/108410>

Carnegie, J. A., Matsuki, M., Haugen, A. D., Hurley, P. B., Ahumada, R., Klasmer, P., Sun, J. & Iede, T. E. 2006. Predicting the potential distribution of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae), a significant exotic pest of Pinus plantations. Ann. For. Sci. 63: 119–128.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Abies concolor*. Fecha de actualización: 9 de noviembre del 2016.

<http://www.bios.conabio.gob.mx/especies/6019308.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2016. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fecha de actualización: 03 de agosto 2016.

<http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/pdf/Insectos.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Pinus caribea* var. hondurensis. Fecha de actualización: 9 de noviembre del 2016.

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/55-pinac2m.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Pinus caribea* var. hondurensis. Fecha de actualización: 9 de noviembre del 2016.

<http://www.CONAFOR.gob.mx:8080/documentos/docs/13/954Pinus%20caribaea.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Fecha de actualización: 22 octubre de 2016.

<http://www.CONAFOR.gob.mx:8080/documentos/docs/13/982Pinus%20radiata.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Fecha de actualización: 22 octubre de 2016.

<http://www.CONAFOR.gob.mx:8080/documentos/docs/13/975Pinus%20patula.pdf>

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Fecha de actualización: 22 octubre de 2016.

<http://www.CONAFOR.gob.mx:8080/documentos/docs/13/964Pinus%20jeffreyi.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Fecha de actualización: 22 octubre de 2016.

<http://www.CONAFOR.gob.mx:8080/documentos/docs/13/964Pinus%20ponderosa.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Fecha de actualización: 22 octubre de 2016.

<http://www.CONAFOR.gob.mx:8080/documentos/docs/13/964Pinus%20halepensis.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Fecha de actualización: 9 de noviembre de 2016

<http://www.CONAFOR.gob.mx:8080/documentos/docs/13/873Abies%20religiosa.pdf>

<http://www.naturalista.mx/taxa/136897-Abies-religiosa>

Comité Regional de Sanidad Vegetal del Cono Sur (COSAVE). 2002. Estándar regional de protección fitosanitaria, medidas fitosanitarias, lineamientos para la vigilancia, vigilancia de *Sirex noctilio* Fabricius.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). Anexo técnico, Prevención y control de la plaga cuarentenaria *Sirex noctilio*. Norma de Manejo Aplicable A Plantaciones Forestales Afectadas por Plagas Cuarentenarias Reguladas por El Servicio Agrícola y Ganadero. Chile. Fecha de actualización: 22 de julio de 2016.

http://www.conaf.cl/.../21_AnexoTecnico_PrevencionControl_Plaga_Sirex_noctilio.doc

Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA). 2016. Fecha de actualización: 05 de agosto del 2016.

<http://pest.ceris.purdue.edu/map.php?code=ISBBADA#>

Diario Oficial de la Federación. Notas explicativas de la tarifa arancelaria. (D.O.F. 2 de julio 2007).

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J. & Lehmann, A. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Goycoolea, C. P. 2015. *Sirex noctilio* en Chile: Monitoreo y Detección. Gerente de Consorcio protección fitosanitaria forestal, S.A. Fecha de actualización: 01 de junio de 2016.

http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2014/08/1-Sem_Manejo-de-la-Plaga-Sirex-noctilio-2015-05-25-C_Goycoolea.pdf

Haugen D. A & Hoebeke, E. R. 2005. Pest Alert. *Sirex* woodwasp—*Sirex noctilio* F. (Hymenoptera: Siricidae). United States, Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area, State and Private Forestry.

Hernández, P. A., Graham, C. H., Master, L. L. & Albert, D. L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29: 773-785.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. 2005. “Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas.” *International Journal of Climatology* 25 (15): 1965–78. doi:10.1002/joc.1276.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 2011. *Sirex noctilio* Fabricius: un riesgo para las plantaciones forestales, sanidad agropecuaria e inocuidad en la producción primaria. 10 pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie V (capa unión), escala: 1:250000. 2a edición. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Mapa de Estados Unidos Mexicanos. Climas. Fecha de actualización 15 de noviembre de 2016.

<http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/tematicos/climas.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Fecha de actualización 15 de mayo de 2016.

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recursos Naturales. Edafología. Fecha de actualización 15 de mayo de 2016.

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/infoedafologica.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Estadísticas de la balanza comercial de mercancías de México. Fecha de actualización 22 de julio de 2016.

http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=comex_2012

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFiS). 2016. Datos proporcionados por la Comisión Nacional Forestal. Agosto de 2016.

Krist, Jr. F., Sapio, F. J. & Tkacz, B. M. 2007. Mapping Risk from Forest Insects and Diseases. USDA-Forest Service. 115 pp.

Lede, E.T., Penteado, S.R.C. & Schaitza, E.G. 1998. *Sirex noctilio* problem in Brazil—detection, evaluation and control. Proceedings of a Conference: Training in the Control of *Sirex noctilio* by Use of Natural Enemies (ed. by E. Ledo, E. Shaitza, S. Penteado, R. Reardon and T. Murphy), pp. 45–52.

Liu, C., Berry, P. M. Dawson, T. P. & Pearson, R. G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28 (2005), pp. 385–393.

López, A., Demaestri, M., Zupán, E., Ibañez, M., García, J. & Crenna, C. 2012. "Ibalia leucospoides parasitoide de *Sirex noctilio* en Córdoba, Argentina". *Revista de Ciencias Forestales Quebracho* Vol.20 (1,2): 68-77.

Margules, C. R. & Sarkar, S. 2007. Systematic conservation planning. Cambridge University Press. UK. 270 pp.

Morueta-Holme, N., Flojgaard, C. & Svenning, J. C. 2010. Climate change risk and conservation implications for a threatened small-range mammal species. *PLoS ONE*, 5, p. e10360 doi: 10.1371/journal.pone.0010360

Neumann, F. G., Morey, J. L., Mckimm, R. J. 1987. The *Sirex* wasp in Victoria. Public Lands and Forest Division. Department of Conservation. Forest and Lands, Melbourne. Bulletin N° 29.

Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias NIMF n.º 15. Directrices para reglamentar el embalaje de madera utilizado en el comercio internacional (NIMF n.º 15, 2002).

Norma Oficial Mexicana NOM-016-SEMARNAT-2013. Importación de madera aserrada nueva (D.O.F. 4 marzo 2013).

Norma Oficial Mexicana NOM-144-SEMARNAT-2004. Medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera, que se utiliza en el comercio internacional de bienes y mercancías (D.O.F. 18 enero 2005).

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. (D.O.F. 30 diciembre 2010).

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

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

Phillips, S. J. & Dudik, M. 2008. “Modeling of Species Distributions with MaxEnt: New Extensions and a Comprehensive Evaluation.” *Ecography* 31 (2): 161–75. doi:10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). 2016. Base de datos de importaciones de madera aserrada. Información proporcionada por el Área de Inspección Ambiental de Puertos, Aeropuertos y Fronteras. Fecha de actualización: junio de 2016.

Reygadas, P. D. 2012. Integración de un modelo base de predicción de riesgo para las especies de descortezadores (*Dendroctonus mexicanus* HOPKINS, *D. adjunctus* BLANDFORD, *D. frontalis* ZIMMERMANN y *D. pseudotsugae* HOPKINS). Informe Final de Trabajo.

Rojas, P. E. & Gallardo, V. R. 2005. Análisis e identificación de daños, estados inmaduros, adultos y enemigos naturales de *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae). Servicio Agrícola y Ganadero. Chile. 23 pp.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). 2005. Informativo Fitosanitario Forestal. No. 1. *Sirex noctilio* Frabricius (Hym., Siricidae) “Avispa taladradora de los pinos” situación en Chile. Fecha de actualización: 14 de julio del 2016.

http://www.sag.cl/sites/default/files/informativo_1.pdf

Sistema de información comercial vía internet (SIAVI4)-SECRETARIA DE ECONOMÍA. 2016. Fecha de actualización: 10 de julio de 2016.

<http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/partida.php>

Slippers, B., De Groot, P. & Wingfield, M. J. 2012. The *Sirex* Woodwasp and its Fungal Symbiont: Research and Management of a Worldwide Invasive Pest. Springer Science & Business Media, 301 p.

Taylor K. L. 1981. "The *Sirex* woodwasp: ecology and control of an introduced forest insect", In: Kitching, R.; Jones R. (ed') 1981. The Ecology of Pests. Some Australian Case Histories. pp. 230-248.

Tognelli, M.F., Roig-Junent, S.A., Marvaldi, A.E., Flores, G.E. & Lobo, J.M. 2009 An evaluation of methods for modelling distribution of Patagonian insects. *Revista Chilena De Historia Natural*, 82, 347–360.

Proyecto GEF-Invasoras_Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Sirex noctilio* Fabricius y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en el territorio mexicano”

USDA, Forest Service, Northern Research Station and Forest Health Protection. 2016. “Alien Forest Pest Explorer - species map.” Database last updated 28 July 2016. Fecha de actualización: 15 de noviembre de 2016.

<http://foresthealth.fs.usda.gov/portal/Flex/APE>

Ventura, R. A., López, U. J., Vargas, H. J. y Guerra, V. 2010. Caracterización de *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO en el Centro de México. Implicaciones para su conservación. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 33 (2): 107 – 116.

Villacide, J. & Corley, J. 2007. Manejo integrado de la avispa barrenadora de los pinos *Sirex noctilio*. Cuadernillo número 1, serie técnica manejo integrado de plagas forestales. Laboratorio de Ecología de Insectos EEA INTA Bariloche.

WorldClim – Global Climate Data. Free climate data for ecological modeling and GIS. Fecha de actualización: 15 de junio de 2016.

<http://www.worldclim.org/bioclimate>

Yañez, E. L. 2004. Las principales familias de árboles de México. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. 29-115.

Zondag, R. & Nutall, M.J. 1977. *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae). Forest and Timber Insects in New Zealand N° 20. Forest Research. Institute New Zealand Forest Service. 8 pp.

11. ANEXOS

11.1 Anexo 1 (cartografía)

11.2 Anexo 2 (modelos)

11.3 Anexo 3 (mapas)