

Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* en el territorio mexicano



Informe final

Análisis de la idoneidad ambiental de *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* en México

Consultor: Dr. Andrés Lira Noriega

24 de mayo de 2019

“Las opiniones, análisis y recomendaciones de política incluidas en este informe no reflejan necesariamente el punto de vista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como tampoco de su junta ejecutiva ni de sus estados miembros”.



Título: Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* en el territorio mexicano.

Objetivo: Contar con dos modelos de predicción de riesgo de introducción de las plagas exóticas forestales, uno para *Lymantria dispar* y otro para *Agrilus planipennis* procesado 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: Andrés Lira Noriega

Modo de citar: PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2019. Servicios de consultoría para integrar dos modelos de predicción de riesgo para las plagas exóticas forestales *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* en el territorio mexicano. Proyecto 0839333 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”. Lira-Noriega, A. Laboratorio de Biogeografía, Red de Estudios Moleculares Avanzados, INECOL, Xalapa, Veracruz, México. 8 pp.

Área objeto del informe: Territorio nacional

Fecha de inicio y terminación del proyecto: mayo de 2018 a marzo de 2019

Vínculo con las metas de la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras: Los resultados de este informe se vinculan con el objetivo estratégico 1. “prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras” y la meta 1.3 Vías de introducción y dispersión identificadas y vigiladas para las especies invasoras de mayor riesgo, específicamente con la acción prioritaria “Predecir la dispersión e infestaciones potenciales. Desarrollar análisis de riesgo de vías de introducción y diseminación de especies invasoras”. Lo anterior está relacionado con las acciones estratégicas transversales 1. Revisar, adecuar y desarrollar el marco legal y normativo y 2. Desarrollar capacidades científicas, técnicas, humanas e institucionales.

Resumen: Este informe comprende la definición y descripción de las variables ambientales que se estima permiten el establecimiento de la polilla gitana, también conocida como palomilla gitana asiática o Gypsy Moth en inglés (*Lymantria dispar*) y escarabajo barrenador esmeralda del fresno o Emerald Ash Borer en inglés (*Agrilus planipennis*), así como el listado de los principales hospedantes y sus valores promedio de riesgo. Los mapas de idoneidad para el establecimiento de estas especies muestran mayor extensión de riesgo para la A.

planipennis en México que para *L. dispar*. El riesgo de *A. planipennis* se concentra principalmente en la Sierra Madre Oriental al sur de Nuevo León, la parte centro-norte de Veracruz, sur de Morelos y Guerrero, Oaxaca y Chiapas casi en su totalidad, y el noroeste de la península de Yucatán, una parte del altiplano mexicano en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo y la región sur de la península de Baja California. El mapa de *L. dispar* muestra zonas de mayor idoneidad hacia la región del altiplano mexicano, extendiéndose principalmente hacia la Sierra Madre Occidental en el oeste de Durango, Chihuahua y sur de Zacatecas, y también hacia la parte sur de Nuevo León, noroeste de San Luis Potosí, Aguascalientes, y serranías de Oaxaca y Chiapas, la porción central de Quintana Roo y la porción noroccidental de Baja California. Se han reportado una gran cantidad de especies de hospederos para ambas especies en todo el mundo. En México, las especies de hospederos con datos de presencia confirmados para *L. dispar* fueron 45, las cuales incluyen especies de los géneros *Acer*, *Alnus*, *Castanea*, *Eucalyptus*, *Fagus*, *Larix*, *Liquidambar*, *Litchi*, *Malus*, *Ostrya*, *Picea*, *Pinus*, *Populus*, *Prunus*, *Pseudotsuga*, *Pyrus*, *Quercus*, *Rhus*, *Robinia*, *Salix*, *Tilia* y *Vaccinium*. Para *A. planipennis* se encontraron 15 especies de hospederos con registros de presencia en el país, entre las cuales se encuentran especies de los géneros *Athysanus*, *Cirsium*, *Coccocypselum*, *Fraxinus*, *Hypericum*, *Justicia*, *Lemna*, *Lepidozia*, *Pseudosmodium*, *Solanum*, *Sorghum*, *Tectaria*, *Vitis*.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	6
2	DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES	6
2.1	<i>Lymantria dispar</i>	7
2.1.1	TAXONOMÍA	7
2.1.2	DESCRIPCIÓN	7
2.1.3	DISTRIBUCIÓN	9
2.1.4	SÍNTOMAS	10
2.1.5	BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA	10
2.1.6	IMPACTOS	11
2.1.7	CLIMAS Y VARIABLES AMBIENTALES PREFERIDOS	13
2.1.8	DISPERSIÓN	13
2.2	<i>Agrilus planipennis</i>	14
2.2.1	TAXONOMÍA	14
2.2.2	DESCRIPCIÓN	14
2.2.3	DISTRIBUCIÓN	17
2.2.4	SÍNTOMAS	17
2.2.5	BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA	18
2.2.6	IMPACTOS	18
2.2.7	CLIMAS Y VARIABLES AMBIENTALES PREFERIDOS	19
2.2.8	DISPERSIÓN	20
3	METODOLOGÍA	20
3.1	BASE DE DATOS DE PRESENCIAS POR ESPECIE	20
3.2	IDENTIFICACIÓN DE COBERTURAS AMBIENTALES POR ESPECIE	22
3.3	ÁREA DE CALIBRACIÓN PARA LOS MODELOS DE NICHOS ECOLÓGICOS	24
3.4	MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS	25
3.5	MAPAS DE RIESGO POR ESPECIE: EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO	25
3.6	HOSPEDEROS REPORTADOS PARA <i>Lymantria dispar</i> Y <i>Agrilus planipennis</i> Y VALOR PROMEDIO DE RIESGO	26
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1	MAPAS DE RIESGO POR ESPECIE	26
4.2	HOSPEDEROS REPORTADOS PARA <i>Lymantria dispar</i> Y <i>Agrilus planipennis</i>	30

4.3	POSIBLES MEDIOS DE INTRODUCCIÓN Y RUTAS DE DISPERSIÓN PARA <i>Lymantria dispar</i> Y <i>Agrilus planipennis</i>	42
4.4	RECOMENDACIONES	44
<u>5</u>	<u>REFERENCIAS.....</u>	<u>44</u>

1 Introducción

El análisis de riesgo es una herramienta de prevención que identifica la vulnerabilidad, amenazas y consecuencias en caso de ocurrir el ingreso de especies exóticas con potencial invasor al país. Particularmente, Estados Unidos tiene el registro de dos especies de insectos que son de especial riesgo para los ecosistemas forestales de México: *Lymantria dispar* y *Agilus planipennis*. Estas dos especies tienen un alto potencial de ingreso, establecimiento, dispersión y son causa significativa de mortalidad de masas forestales en Norte América, tanto en plantaciones comerciales como en bosques naturales (EPPO, 2005; Tobin *et al.*, 2007). Debido a lo anterior, es importante que México cuente con estudios sobre los factores de riesgo de introducción de estas especies, así como las actividades a efectuar para tratar de evitar el riesgo que representa su ingreso y establecimiento en el país.

Para llevar a cabo acciones de alerta temprana, es prioritario contar con estudios sobre la importancia de estas especies en México. Un primer paso estratégico es entender los factores del medio, tanto abióticos como bióticos, que junto con actividades de origen antrópico propicien la dispersión y establecimiento de estas especies.

Con este trabajo se pretende apoyar a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para fortalecer sus capacidades en la toma de decisión sobre los recursos forestales mediante análisis de riesgo para *L. dispar* y *A. planipennis*. Previamente se han realizado trabajos similares con las especies de insectos *Sirex noctilio* y *Anoplophora glabripennis* afines a los bosques mexicanos (PNUD México, 2016). Aquí se hace una síntesis de la biología de *L. dispar* y *A. planipennis* y un análisis de riesgo por especie a través de mapas que resumen en escala cualitativa (0-5; nulo, bajo, medio, alto, muy alto) las zonas con distinto grado de vulnerabilidad en México.

La información sobre la taxonomía y biología de las especies resulta fundamental para estandarizar criterios de búsqueda. En la primera parte de este informe se presenta la descripción taxonómica aceptada para cada especie, información sobre su distribución y síntomas en los ecosistemas forestales, así como impactos y variables abióticas más importantes. En una segunda parte se expone la metodología relacionada con los análisis espaciales y ambientales para la obtención de los mapas de riesgo cualitativos por especie. Estos mapas son resultado de un análisis multicriterio que comprende cuatro variables: la idoneidad climática, la idoneidad por tipo de vegetación, el número de árboles y una cobertura de índice de disturbio y presión a los ecosistemas producto de actividades antrópicas. Posteriormente, se enlistan los principales hospederos identificados hasta la fecha para el mundo y para México y se da un valor de riesgo para las especies para las cuales hay coordenadas de presencia en el país. Finalmente, se hacen algunas recomendaciones para orientar la vigilancia de estas especies.

2 Descripción de las especies

A continuación, se describe la taxonomía y biología general de ambas especies. La información se obtuvo principalmente de la página de CABI (2018a, 2018b).

2.1 [Lymantria dispar](#)

2.1.1 [Taxonomía](#)

Dominio: Eukaryota
Reino: Metazoa
Phylum: Arthropoda
Subphylum: Uniramia
Clase: Insecta
Orden: Lepidoptera
Familia: Erebidae
Subfamilia: Lymantriinae
Género: *Lymantria*
Especie: *Lymantria dispar*

Nombre común:

Español: Polilla gitana, palomilla gitana asiática, lagarta peluda de los encinares.

Inglés: Gypsy Moth

Francés: Bombyx disparate

Sinonimias:

Bombyx dispar Linnaeus

Hypogymna dispar Linnaeus

Liparis dispar Linnaeus

Ocneria dispar Linnaeus

Phalaena dispar Linnaeus

Porthesia dispar Linnaeus

Porthetria dispar Linnaeus

2.1.2 [Descripción](#)

Huevos

Los huevecillos de *Lymantria dispar* pueden ser ovopositados de dos formas, en forma de racimo o de masa. La parte externa presenta una coloración amarillo claro la cual está cubierta por una capa de pelo producto de la ovoposición de la hembra; mientras que los huevos en su interior pueden variar de tonos grisáceos hasta negros. Cada huevo mide aproximadamente 1 mm de diámetro y cada masa o racimo de 2 a 5 mm de largo, 0.5 a 2 mm de ancho y puede contener de 400 a 600 huevos, aunque también se reportan puestas de 80 a 1200 huevecillos. Estos huevos pueden ser encontrados en las ramas de los árboles y en los troncos; sin embargo, también han sido encontrados en rocas y muros (CABI, 2018b).



Figura 2.1.1. Masa de huevos de hembra no alada (a), masas de huevo con pupas (b), y hembras adultas ovipositando (c) de *Lymantria dispar*. Imágenes Thomas Palmer, con permiso del autor para reproducir las imágenes en este informe.

Larvas

Las larvas generalmente pasan de cinco a seis estadios, cada uno puede identificarse por el ancho de la cápsula de la cabeza. Las larvas de primer estadio tienen alrededor de 3 mm de largo, mientras que las larvas maduras miden aproximadamente 40-50 mm de largo dependiendo del sexo. Durante todo el ciclo de vida larvario el individuo presenta pelo, sin embargo, puede haber una variación considerable en la coloración; los primeros estadios presentan tonos grisáceos o negros y los posteriores coloraciones negras o amarillentas con patrones de manchas redondas de color azul y rojo. Para el caso de la cabeza, durante los tres primeros estadios la coloración puede ser de tonos oscuros, mientras que en los últimos tres de color amarilla. Una de las principales características de la larva de la palomilla gitana asiática son las manchas redondas en el dorso, las cuales están agrupadas en dos filas de color azul en los primeros 5 segmentos y dos filas de color rojo en los 6 segmentos restantes (CABI, 2018b).



Figura 2.1.2. Larvas de quinto estadio (a-b) de *Lymantria dispar*. Marc Kenis, con permiso del autor para reproducir las imágenes en este informe.

Pupas

Las pupas presentan una coloración marrón oscuro, externamente están constituidas con pelos rojizos. En esta etapa, las pupas de los machos llegan a medir de 2 a 3 cm de largo, mientras que las hembras pueden llegar a medir de 3 a 4 cm de largo. Estas pueden ser encontradas en las grietas de los troncos, piedras u otros objetos sostenidas por hilos de seda (CABI, 2018b).

Adultos

En la etapa adulta, los individuos presentan dimorfismo sexual, siendo la hembra de mayor tamaño y coloración distinta. Los machos están constituidos con un cuerpo más esbelto y de color marrón grisáceo con marcas oscuras en las alas; la envergadura mide aproximadamente de 3 a 4 cm y presentan antenas plumosas de mayor tamaño que las hembras. La hembra presenta una envergadura de 4 a 7 cm, abdomen de color blanco con pelos amarillentos y coloración blanquecina en las alas, con bandas onduladas de color negro en la punta. Para el caso de las hembras, las alas atrofiadas les impiden la capacidad del vuelo; sin embargo, pueden emitir una feromona captada por los machos, los cuales sí presentan la capacidad de volar con fines reproductivos (CABI, 2018b).

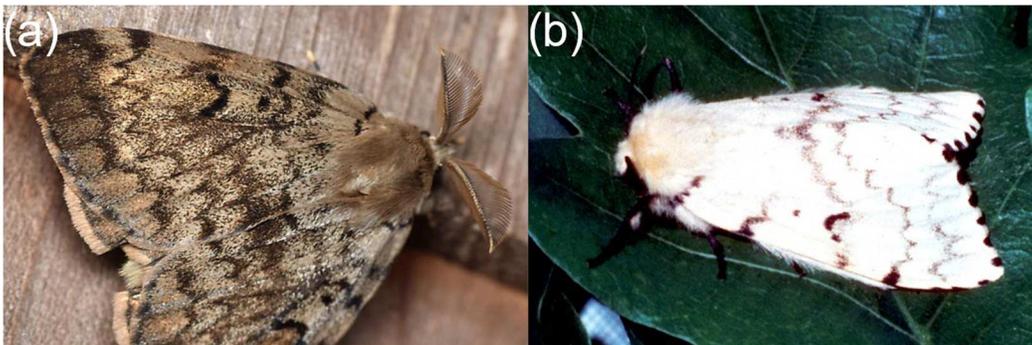


Figura 2.1.3. Macho adulto (a; Thomas Palmer) y hembra adulta (b; Marc Kenis) de *Lymantria dispar*. Con permiso de los autores para reproducir las imágenes en este informe.

2.1.3 Distribución

Lymantria dispar se distribuye en Europa, cerca de los montes Urales, en parte del medio Oriente, en islas del mediterráneo, África del norte e introducida a América del norte (Pogue & Schaefer, 2007). En Europa, la distribución de la palomilla gitana corresponde a 2 zonas de vegetación: bosques caducifolios con clima templado y matorral mediterráneo; el límite de distribución en la zona norte procede a través del sur de Suecia y Finlandia, mientras que el límite sur empieza en el oeste comenzando en el norte de Marruecos, Argelia y Túnez, y procede al este para incluir todas las islas del mediterráneo en una línea a través de Israel hasta llegar a Asia (CIE, 1981). Para el caso de Asia, *Lymantria dispar* se distribuye en zonas de clima templado, generalmente al este de los montes Urales, Rusia, al norte de China y la

península de Corea (Bhardwaj, 1987; Gupta, 1992). Para el caso de Japón, la especie se distribuye en Honshu, Shikoku, Kyushu, y en algunas partes del sur y oeste de Hokkaido (Pogue & Schaefer, 2007). En Norteamérica la palomilla gitana fue introducida en 1869 en Medford, Massachusetts, y a partir de entonces ha expandiendo su rango de forma lenta pero gradual; desde ese año, el rango de dispersión se ha extendido drásticamente, incluyendo todo el noreste de Estados Unidos (todos los estados y Nueva Inglaterra, Virginia, West Virginia, Ohio, Wisconsin y Michigan), y en Canadá incluye las provincias de Ontario, Quebec, New Brunswick y Nueva Escocia (Liebhold *et al.*, 1992; Montgomery & Wallner, 1989). Véase mapa de distribución de localidades de colecta u observación de *L. dispar* en la Figura 3.1.1.

2.1.4 [Síntomas](#)

El signo más evidente es la defoliación del hospedero. En los primeros estadios, la larva que emerge del huevo llega a las hojas para alimentarse de forma grupal, creando pequeños orificios en el follaje. Posteriormente la larva comienza a alimentarse de todo el margen de la hoja para finalmente consumir lo que resta de ella. En el caso de poblaciones no tan abundantes es difícil percibir la presencia de la palomilla, debido a que prefieren ocultarse en lugares con poca luz (CABI, 2018b).

2.1.5 [Biología y ecología](#)

El ciclo de vida de la palomilla gitana es el siguiente. Comienza con la liberación de los huevos de forma grupal, caracterizados por estar cubiertos de una capa de pelo derivado del abdomen de la hembra, estos pelos tienen la función de proteger a los huevos de las contingencias climáticas. Cada hembra puede liberar alrededor de 100 a 1200 huevos, con un promedio de 700 para poblaciones dispersas alimentándose de buenos hospederos y de 250 para poblaciones decrecientes. Los huevos son liberados a principios del verano, entrando en la fase de diapausa después de completar el desarrollo embrionario para poder permanecer en diapausa durante el invierno, aunque no existe evidencia de que la diapausa esté controlada por fotoperiodos, los huevos necesitan de 60 a 150 días de bajas temperaturas. La eclosión del huevo comienza de 2 a 3 semanas después de iniciar la primavera, posteriormente de las 24 horas después de la eclosión del huevo, las larvas comienzan a dispersarse, sin embargo, la dispersión puede ser afectada por las lluvias o por temperaturas inferiores a los 7 °C. Las larvas comienzan a subir a la cima del árbol para después bajar gracias a un hilo de seda (Montgomery & Wallner, 1989).

Normalmente existen 5 estadios en insectos machos y 6 en las hembras; desarrolladas completamente, las hembras suelen ser más pesadas que los machos; el desarrollo completo toma de 44 a 50 días respectivamente a una temperatura promedio de 20 °C. Durante los primeros 3 estadios la larva permanece cerca de las hojas, mientras que las larvas más longevas dejan el follaje durante el atardecer para buscar lugares oscuros para descansar (Montgomery & Wallner, 1989).

2.1.6 Impactos

La palomilla gitana ocasiona un impacto variado y muy complejo. La defoliación causada por esta especie puede cambiar la complejidad del crecimiento del sotobosque y a su vez disminuir la diversidad de flora o fauna. Consecutivamente también puede atraer otros problemas, provocando el estrés de la planta o predisponer a la planta a ser afectada por insectos o enfermedades oportunistas causando la posible muerte del hospedero (McManus & Csóka, 2007).

El impacto ambiental de la palomilla gitana en su rango introducido en América del Norte parece exceder su rango nativo en Eurasia. Los encinos y otros árboles hospederos principales en América del Norte parecen ser más susceptibles a la defoliación que su complejo nativo hospedante, por lo que los brotes repetidos de la palomilla gitana han contribuido a un declive regional en el componente de encino en los bosques orientales de América del Norte. Al hacerlo, agrava un problema existente de regeneración de encinos en esta región (McManus & Csóka, 2007). De acuerdo con distintas fuentes, esta especie tiene preferencia por encinos, cicutas y pinos; sin embargo, se refieren a un aproximado de más de 300 especies de hospederos (árboles y arbustos) afectados en el rango donde la especie ha sido introducida (Main Forest Service 2013; https://www.maine.gov/dacf/mfs/forest_health/insects/gypsy_moth.htm; McFadden & Mcmanus, 1991, Liebhold et al., 1995).

Para manejar las poblaciones de palomilla gitana, más de 1 millón de hectáreas de bosques en los EUA han sido rociadas con pesticidas químicos y bioplaguicidas, lo que podría tener graves impactos sobre organismos terrestres y acuáticos no objetivo. Sin embargo, algunos autores han sugerido que la defoliación provocada por la palomilla gitana puede llegar a causar aún más daños sobre la fauna nativa en comparación con los efectos de la aplicación de plaguicidas (Fabel, 2000).

En el contexto de la normatividad mexicana, la “NORMA Oficial Mexicana NOM-013-SEMARNAT-2010, que regula sanitariamente la importación de árboles de navidad naturales de las especies de los géneros *Pinus* y *Abies* y la especie *Pseudotsuga menziesii*” menciona entre las especificaciones que:

Lymantria dispar es una plaga cuarentenaria asociada a árboles de navidad naturales (especificación 4.1).

4.3. No se permite la importación de árboles de navidad que provengan de plantaciones ubicadas en condados donde las organizaciones nacionales de protección fitosanitaria de Canadá y los Estados Unidos de América, reporten la presencia de Lymantria dispar, de conformidad con los listados que se señalan en el ANEXO 1 de la presente norma, cuya información se podrá consultar actualizada en los términos que en dicho anexo se señala.

4.4. No se permite el ingreso de árboles de navidad vivos con o sin sustrato, de las especies de los géneros Pinus y Abies, y la especie Pseudotsuga menziesii.

4.5 Requisitos fitosanitarios

4.5.1. Las áreas de donde se pretenda exportar árboles de navidad a México deberán contar con un programa de control de plagas. Se deberá realizar un tratamiento a la copa de los árboles entre las semanas 3 a 6 antes de su corte, con alguno de los siguientes insecticidas piretroides: permetrina al 36.8% de ingrediente activo,

esfenvalerato al 8.4% de ingrediente activo o bifentrina al 7.9% de ingrediente activo, de conformidad con los usos y dosis recomendados en la etiqueta.

4.5.2. Previo a su embarque los árboles serán sometidos a un proceso de agitación mecánica en su lugar de origen durante un mínimo de 15 segundos a un mínimo de 700 revoluciones por minuto.

4.5.3. Los árboles deberán venir libres de ramas, ramillas o brotes muertos y follaje de color amarillento o rojizo ocasionados por la presencia de plagas; sin raíz, sin tierra y libres de pintura en el follaje.

4.5.4. Certificado fitosanitario internacional otorgado en el estado y condado de origen, que deberá incluir el nombre completo de la o las plantaciones de donde provenga el envío, así como la siguiente declaración adicional:

"Los árboles de este envío han sido inspeccionados determinándose que cumple con los requisitos fitosanitarios establecidos y se encuentra libre de plagas de cuarentena para México, de conformidad con la NOM-013-SEMARNAT-2010".

4.6. El envío de árboles que se pretenda importar al país, se presentará completo y será sometido a inspección por parte del personal oficial en los puntos de ingreso al país, o verificado por una unidad de verificación para constatar su condición fitosanitaria.

4.7. Si durante la inspección o verificación se detectan posibles plagas, se debe tomar una muestra, cuyo envío a la ¹Secretaría para el dictamen técnico correspondiente será pagado por el importador.

4.8 Si como resultado del dictamen técnico que emita la Secretaría, se determina que el envío de los

árboles de navidad presenta plagas cuarentenarias, no se permitirá su ingreso al país.

4.9. Cuando de conformidad con el numeral 4.8. de esta norma, se rechace un envío, el frente del certificado fitosanitario internacional original que lo ampare deberá ser sellado por el inspector de la PROFEPA con la leyenda "Rechazado".

4.10. Los árboles de navidad sujetos al cumplimiento de la presente Norma podrán importarse a territorio nacional por cualquiera de los puntos de ingreso autorizados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y de conformidad con lo señalado en el "Acuerdo por el que se dan a conocer los formatos y el Manual de Procedimientos para obtener el Certificado Fitosanitario de los productos y subproductos forestales, cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de enero de 2002, su reforma del 19 de diciembre de 2002 o por el que lo sustituya.

4.11. A petición de los interesados, la Secretaría realizará las verificaciones en origen a las plantaciones de árboles de navidad naturales; en el entendido de que los gastos que estos procedimientos generen serán cubiertos por el propietario o importador.

¹ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.12. Las Unidades de Verificación o el Personal Oficial realizarán la verificación, mediante el muestreo dirigido a aquellos árboles con posibles daños, tomando como muestra un mínimo del 1.5% de árboles del total de cada lote. Se tomarán árboles a lo largo del lote (al principio, parte media y final).

Además, *L. dispar* está catalogada como plaga cuarentenaria por parte del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad, y Calidad Agroalimentaria (SENASICA; <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/VigilanciaActivaV2.aspx>), por su afectación a frutales como mango, perales y manzanos.

2.1.7 Climas y variables ambientales preferidos

Limbu *et al.* (2017) reportan el impacto de la temperatura sobre el desarrollo de las larvas en *Lymantria dispar*. En este estudio indican que la tasa de desarrollo larvario en individuos de poblaciones rusas y chinas aumentó con la temperatura hasta alcanzar un nivel óptimo a 29 °C. Las larvas experimentaron problemas significativos de muda a temperaturas más altas (30 °C) y bajas (10 °C) de acuerdo con sus experimentos. A 30 °C, la condición física de las hembras se vio notablemente comprometida, mostrándose reducción de la fecundidad y la fertilidad. Esto sugiere que el desarrollo y la supervivencia de la palomilla gitana asiática pueden verse limitados por las temperaturas extremas de verano en el sur de los Estados Unidos, que de acuerdo con estos experimentos deberían ser de 30 °C o superiores. También determinaron los requisitos de días de calor (degree-days) para dos etapas de vida críticas y dos poblaciones de palomilla gitana asiática, que representan los extremos en latitud, con el fin de predecir el momento para la aplicación de biopesticidas y el despliegue de trampas para adultos. De acuerdo con lo reportado por estos autores, en poblaciones rusas y chinas, segundo estadio larvario puede tardar entre 68-78 días de calor y entre 125-205 días de calor para alcanzar el 10% o el 99%, respectivamente, mientras que para alcanzar la etapa adulta los días de calor oscilan entre 564-912 y 813-1216 para el 10% y 99%, respectivamente.

2.1.8 Dispersión

De manera natural la forma de dispersión de *Lymantria dispar* es muy limitada. Las hembras de *Lymantria dispar* no tienen la capacidad del vuelo, sin embargo, pueden moverse en promedio 1 o 2 metros desde el lugar de eclosión o de ovoposición. Los estadios tempranos por lo regular permanecen en el dosel o en el sotobosque, mientras que en los estadios 2 y 3, las larvas pueden moverse dentro del mismo hospedero, pero no de árbol a árbol. Para el caso de los estadios más tardíos tienden a movilizarse más, debido a que durante el día buscan lugares de descanso cambiando de un árbol a otro, este proceso juega un papel importante en el proceso de cambio de hospedero (Elkinton & Liebhold, 1990).

Durante la propagación de la especie, existen distintos factores abióticos que podrían limitar o favorecer su desarrollo y dispersión de la palomilla gitana. Se ha observado que

temperaturas extremadamente bajas (menores a 10 °C) o extremadamente altas (superiores a 30 °C) limitan su distribución y reproducción, así como un exceso de precipitación. Sin embargo, velocidades de viento altas podrían favorecer su capacidad de dispersión debido a que los individuos de esta especie pueden planear (Limbu *et al.*, 2017). Sin embargo, uno de los principales factores de dispersión de masas de huevos ocurre por dispersión artificial provocada por el hombre al transportar leña o madera, así como otro tipo de objetos o posesiones contaminados (McManus *et al.*, 1999). La distribución potencial generada para esta especie en México (véase más adelante Figura 4.1), las zonas de menor idoneidad coinciden con climas extremos poco favorables para la especie, mientras que las zonas más aptas para su establecimiento se ubican dentro de los límites de condiciones climáticas o de vegetación que más le favorecen. De acuerdo con información reportada por distintos autores, el uso de ropa o calzado y otras posesiones contaminados, madera y embalaje, y la transportación de plantas de zonas infestadas o el movimiento de autos, son vectores reportados para esta especie (Kean *et al.*, 2015; Liebhold & Tobin, 2006).

2.2 *Agrilus planipennis*

2.2.1 Taxonomía

Dominio: Eukaryota

Reino: Metazoa

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Uniramia

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Familia: Buprestidae

Género: *Agrilus*

Especie: *Agrilus planipennis*

Nombre común:

Español: Escarabajo barrenador esmeralda del fresno

Inglés: Emerald Ash Borer

Francés: Agrile du frêne

Sinonimias:

Agrilus feretrius Obenberger

Agrilus marcopoli Obenberger

2.2.2 Descripción

Huevos

Los huevos presentan una forma ovalada, ligeramente convexos en el centro, alcanzan a medir 1 mm de largo y de 0.6 a 1 mm de ancho. Son de color blanquecino tornándose en tonos amarillo pardo hasta llegar al color ámbar según se acerque el tiempo de eclosión. Aunque en esta etapa de vida es difícil detectar la presencia del barrenador del fresno, estudios recientes han demostrado que existe una preferencia de las hembras por depositar sus huevos en las grietas de los troncos o en aberturas de las ramas. Una hembra puede depositar de 1 a 23 huevos (CABI, 2018a).



Figura 2.2.1. Imagen de huevos de *Agrilus planipennis*. Tomado de CABI (2018a), David Cappaert/Bugwood.org - CC BY-NC 3.0 US.

Larvas

Las larvas tienen la característica de poseer un cuerpo plano y ancho que presentan una coloración blanco cremoso. Una larva madura alcanza a medir de 26 a 32 mm de largo. El abdomen está constituido por 10 segmentos: el primero, aunque puede variar, casi siempre puede encontrarse de forma rectangular o trapezoidal, del segmento 2 al 6 pueden ser de igual forma incluyendo protuberancias en forma de lóbulos, el séptimo segmento presenta una forma acampanada, mientras que el décimo segmento está constituido por un par de urogonfos. La cabeza se encuentra retraída en el protórax, externando únicamente las piezas bucales (CABI, 2018a).

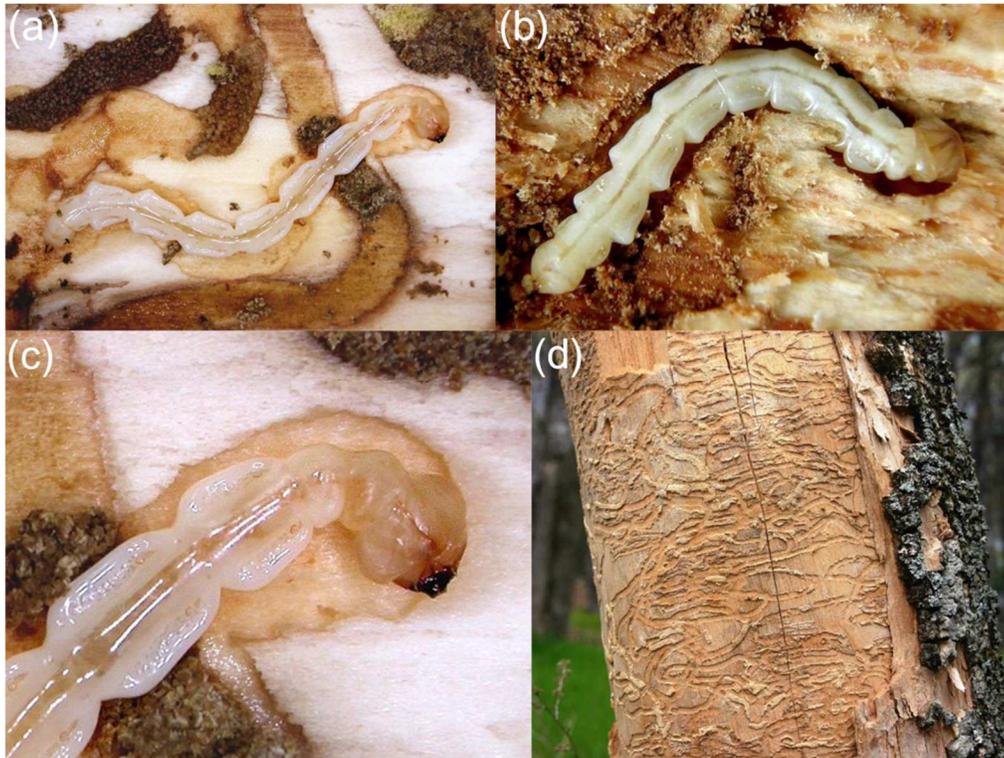


Figura 2.2.2. Imágenes de larvas de *Agrilus planipennis* (a-c; David Cappaert/Bugwood.org - CC BY-NC 3.0 US) y las galerías que hace (d; Christopher Asaro/Virginia Department of Forestry/Bugwood.org - CC BY-NC 3.0 US).

Pupas

El estadio de pupa es corto, durando en promedio cerca de 20 días a 18 o 20 °C. Las pupas tienden a medir de 10 a 14 mm de largo. Presentan una coloración blanquecina (CABI, 2018a).

Adultos

Los adultos llegan a medir de 8.5 a 14 mm de largo y de 3.1 a 3.4 mm de ancho. Presentan un característico color verde metálico, aunque también se llegan a apreciar tonalidades azules. El cuerpo tiene forma de cuña, es estrecho y elongado y la cabeza es plana. El abdomen cuenta con tergitos de color rojo cobrizo metálico. Presenta ojos compuestos en forma de riñón de color ámbar. El protórax es rectangular y ligeramente más ancho que la cabeza, pero del mismo ancho que los élitros (CABI, 2018a).

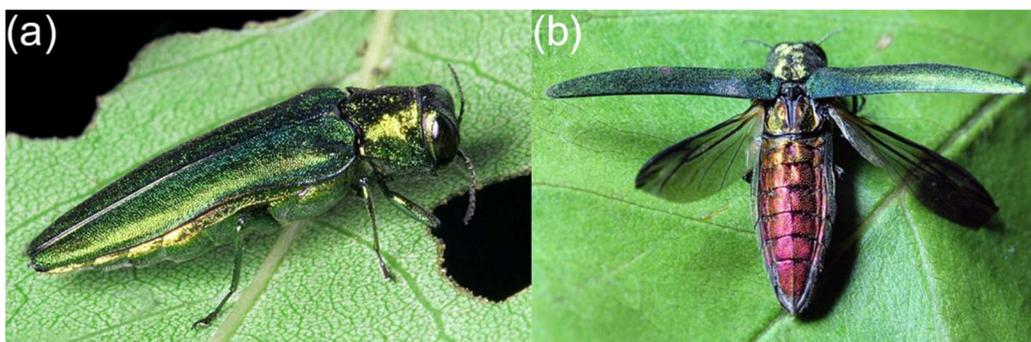


Figura 2.2.3. Imágenes de adultos de *Agrilus planipennis* (a-b; David Cappaert/Bugwood.org - CC BY-NC 3.0 US).

2.2.3 [Distribución](#)

Es una especie eurasiática. Su rango nativo comprende varias provincias de China incluyendo Liaoning, Jilin, Heilongjiang, Hebei y Shandong, los países Korea, Japón, Taiwan, y partes de Rusia y Mongolia. El primer registro corroborado de *A. planipennis* en Estados Unidos data de 2002 en un puerto cercano a Detroit, sin embargo, se estima que esta especie podría estar presente en dicho país desde un par de décadas atrás. Prasad *et al.* (2010), sugieren una fecha tentativa para la dispersión de esta especie en Estados Unidos a partir de 1998. Actualmente se ha extendido su distribución en varios estados de los Estados Unidos incluyendo Illinois, Indiana, Kentucky, Maryland, Michigan, Minnesota, Missouri, Nueva York, Ohio, Pensilvania, Carolina del Sur, Tennessee, Virginia, Virginia Occidental y Wisconsin, así como en las provincias canadienses de Ontario y Quebec (CABI, 2018a; véase Figura 3.1.2).

2.2.4 [Síntomas](#)

Las larvas crean largas galerías en forma de “S” de hasta 26-32 mm de largo en la albura de la madera, que se agrandan a medida que crecen y se llenan de aserrín pardusco y excremento (Figura 2.2.2). El árbol puede producir una respuesta al ataque de las larvas que se alimentan de la corteza cuyo síntoma son unas divisiones verticales de 5-10 cm de largo sobre la misma en la corteza del tronco. Los adultos recién emergidos perforan orificios de salida en forma de D de aproximadamente 3-4 mm de diámetro en troncos y ramas. La progresión del ataque por las larvas al sistema vascular del árbol causa un amarillamiento y adelgazamiento general del follaje, muerte de las ramas, muerte regresiva de la copa y finalmente muerte del árbol después de 2 a 3 años de infestación. La presencia de brotación basal y de pájaros carpinteros podrían ser indicadores de actividad de escarabajos perforadores de madera, así como el desprendimiento de la corteza en trozos y exhibiendo las galerías por debajo de esta, lo cual ocurre entre 1-2 años después de la infestación (CABI, 2018a).

2.2.5 [Biología y ecología](#)

Agrilus planipennis es un género extenso de escarabajos barrenadores. En la primavera, los escarabajos adultos comienzan masticando hacia el exterior del árbol para emerger, creando un orificio en el tronco en forma de “D”. Estudios recientes han demostrado que el ciclo biológico de *Agrilus planipennis* tarda en promedio 1 o 2 años para completarse. Los adultos llegan a alimentarse del follaje del hospedero por 5 a 7 días después de la cópula, mientras que las hembras se alimentan de 5 a 7 días más antes de liberar los huevos. Los huevecillos son liberados en las grietas del tronco, eclosionando 2 semanas después. Las larvas recién emergidas del huevo comienzan a alimentarse del floema y del cambium de la planta desde julio hasta el otoño excavando galerías en forma de “S”. La extensiva alimentación de la larva puede causar perturbación en el hospedero llevándolo a la muerte en un promedio de 1 a 3 años (CABI, 2018a).

En China, completa su ciclo en 1 año en la provincia de Tianjin, pero por lo general es semivoltina en el clima más frío de las provincias de Heilongjiang y Jilin. En Michigan, Estados Unidos, la emergencia adulta ocurre a fines de mayo y comienzos de junio, coincidiendo con la acumulación de días de 230-260 grados, calculada con un umbral base de 10 °C. Después de emerger, caminan hasta la copa de su árbol huésped y se alimentan de pequeñas cantidades de follaje de fresno, y continúan alimentándose durante toda su vida, que dura de 3 a 6 semanas. El vuelo inicial comienza 3-4 h después de la primera alimentación. Los adultos están activos de 06.00 a 17.00 h, especialmente en días soleados y cálidos. El apareamiento comienza 5-7 días después de la salida. Es importante la señalización olfativa de corto alcance en el hallazgo de parejas y recientemente se ha identificado una feromona de contacto en la cutícula de hembras sexualmente maduras. Las hembras se alimentan durante otros 5-7 días antes de que comience la oviposición. Los huevos se colocan individualmente en la superficie de la corteza, dentro de las grietas de la corteza, principalmente a fines de junio y principios de julio en Michigan. Cada hembra pone un promedio de 50-90 huevos, aunque una hembra criada en cautiverio ha llegado a poner hasta 258 huevos. Los huevos eclosionan en aproximadamente 1-2 semanas. Las larvas de la primera fase pasan por un túnel a través de la corteza hacia el cambium, donde se alimentan desde mediados de junio hasta octubre y noviembre. Las larvas crean largas galerías serpentinales (de hasta 26-32 mm de largo) en la albura, que se agrandan a medida que crecen y se llenan de aserrín pardusco y excremento. Las larvas pasan por cuatro estadios. En un ciclo univoltino (i.e., una generación al año), las larvas maduras pasan el invierno en celdas de pupa de aproximadamente 1 cm de profundidad en la albura o en la corteza exterior. La pupación ocurre en abril-mayo y los adultos emergen aproximadamente 3 semanas después. Los adultos permanecen debajo de la corteza por 1-2 semanas y luego emergen a través de orificios de salida en forma de D que tienen una anchura de 3-4 mm. En un ciclo semivoltino (i.e., un ciclo mayor a un año), las larvas de mitad del estadio hibernan en el cambium, reanudan la alimentación en abril y completan el desarrollo a fines del verano (CABI, 2018a).

2.2.6 [Impactos](#)

Varias especies de fresno son componentes importantes de muchas comunidades de bosques de hoja ancha en el hemisferio norte. En el área nativa de *A. planipennis* en el este de Asia, no hay indicaciones particulares de que tenga un impacto significativo en los bosques nativos. Sin embargo, en América del Norte los fresnos están siendo atacados en áreas abiertas y de bosques cerrados, y decenas de millones de árboles son afectados. El impacto ambiental a largo plazo de esta mortalidad es indudablemente muy alto. Algunas especies de fresnos, como *Fraxinus nigra* y *F. pennsylvanica*, son dominantes de ecosistemas forestales en latitudes norteñas del continente americano y desempeñan papeles esenciales en el funcionamiento de estos ecosistemas boscosos. Es probable que los bosques de fresnos muestren una composición de especies arbóreas afectadas y una biodiversidad reducida. La riqueza de especies de escarabajos terrestres se reduce en los rodales de fresnos afectados por *A. planipennis*, al menos inicialmente. Estudios preliminares también sugieren que los rodales afectados por el escarabajo, ya sea a través de la mortalidad natural o los esfuerzos de erradicación, es probable que estén más invadidos por las plantas invasoras (CABI, 2018a).

2.2.7 [Climas y variables ambientales preferidos](#)

Clima

Los parámetros de algunas variables de clima y temperatura del aire reportadas en la ficha técnica de CABI (2018a) que favorecen el desarrollo de *Agrilus planipennis* se encuentran en las Tablas 2.2.7.1 y 2.2.7.2, respectivamente.

Tabla 2.2.7.1. Climas que favorecen el desarrollo de *Agrilus planipennis*. Fuente: CABI, 2018a

Clima	Estatus	Descripción
BS - Clima de estepa	Tolerado	> 430 mm y <860 mm de precipitación anual
Cf - Clima cálido templado, húmedo todo el año	Preferido	Temperatura cálida preferida. > 10 ° C, temperatura promedio fría > 0 ° C, mojado todo el año
D - Clima continental / microtermal	Preferido	Clima continental / microtermal preferido (Temp. Promedio del mes más frío <0 ° C, mes más cálido promedio > 10 ° C)
Df - Clima continental, húmedo todo el año	Preferido	Clima continental preferido, húmedo todo el año (temperatura cálida promedio > 10 ° C, mes más frío <0 ° C, húmedo todo el año)
Dw - Clima continental con invierno seco	Preferido	Clima continental preferido con invierno seco (temperatura cálida promedio > 10 ° C, mes más frío <0 ° C, inviernos secos)

Tabla 2.2.7.2. Rangos de temperatura del aire que favorece el desarrollo de *Agrilus planipennis*. Fuente: CABI, 2018a

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Temperatura mínima absoluta (°C)	-42	
Temperatura media anual (°C)	2	17
Temperatura máxima media del mes más cálido (°C)	23	33
Temperatura mínima media del mes más frío (°C)	-25	3

2.2.8 Dispersión

La dispersión del escarabajo esmeralda del fresno puede presentarse de 2 maneras: a través del transporte de material infestado y a través de la propagación de corto alcance mediante el vuelo para conseguir un nuevo hospedero. Para lograr deducir la capacidad de dispersión de forma natural del escarabajo esmeralda del fresno, es necesario tener en consideración varios factores bióticos, entre ellos: la capacidad del vuelo, la densidad y distribución de los hospederos, el viento, la precipitación y las barreras físicas (Cappaert *et al.*, 2005). Taylor en el 2010, realizó un estudio para analizar la capacidad de vuelo en condiciones controladas. Se estudió un total de 117 ejemplares de *Agrilus planipennis*, entre ellos: 23 machos, 82 hembras sin copular y 72 hembras copuladas. En este estudio se encontró que más de la mitad de los escarabajos volaron menos de 750 metros, el 20% voló menos de 3 km y solo el 1% voló menos de 6 km; con una velocidad de 0.36 a 0.10 m/s (Taylor *et al.*, 2010).

Las actividades humanas también tienen participación en la dispersión de estas especies. El transporte de material infectado (embalajes de madera) proveniente de Asia, logró infestar los bosques de fresno en Estados Unidos (Siegert *et al.*, 2015).

Los factores ambientales abióticos y la capacidad de las especies para soportarlos juegan un papel importante en la determinación del rango de dispersión que pueda tener la especie (Clobert *et al.*, 2012). Uno de los factores más importantes es la temperatura; para machos y hembras, la temperatura óptima para el desarrollo es de 13.5°C, aunque estos insectos pueden tolerar distintas variaciones, desde 12°C a 33 °C. (Lyons & Jones, 2005). Se ha demostrado que los escarabajos adultos tienen una preferencia por las hojas que están posicionadas hacia el sol que en la sombra.

Prasad *et al.* (2010) estiman que esta especie se ha dispersado de forma natural en una tasa aproximada de 20 km por año desde 1998 a lo largo de la zona de los grandes lagos hacia el oeste de ese país y la frontera con Canadá, muy posiblemente como consecuencia de las actividades humanas.

3 Metodología

3.1 Base de datos de presencias por especie

Se hizo una búsqueda exhaustiva de registros de presencia de las especies *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* a partir de colecciones biológicas digitalizadas en REMIB (http://www.conabio.gob.mx/remib_ingles/doctos/remib_ing.html), GBIF (<http://www.gbif.org>), Bark Beetles de Thomas Atkinson (<http://www.barkbeetles.info/>) y CABI (<http://www.cabi.org>), así como de literatura asociada a estas bases de datos. Los registros de dudosa procedencia, baja precisión espacial o perteneciente a nivel político (e.g., país) fueron eliminados previo a la modelación y filtrado espacial (Tabla 3.1.1). Se incluyeron datos de las localidades correspondientes a la distribución nativa y exótica en todo el mundo.

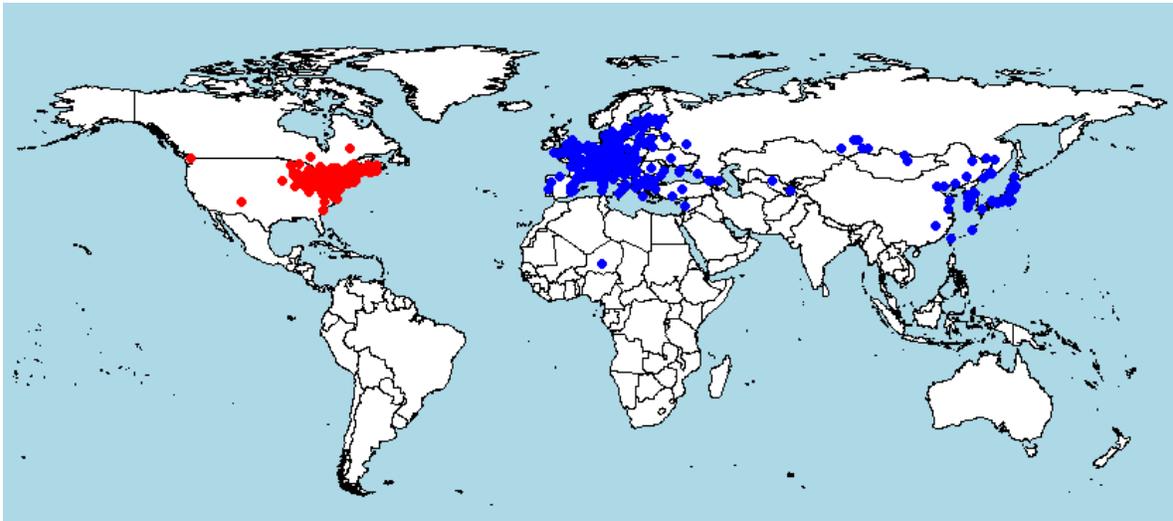


Figura 3.1.1. Distribución de puntos de presencia de *Lymantria dispar* (puntos rojos indican áreas donde la especie es exótica invasora y puntos azules indican el rango nativo). Los mapas fueron desarrollados por el consultor.

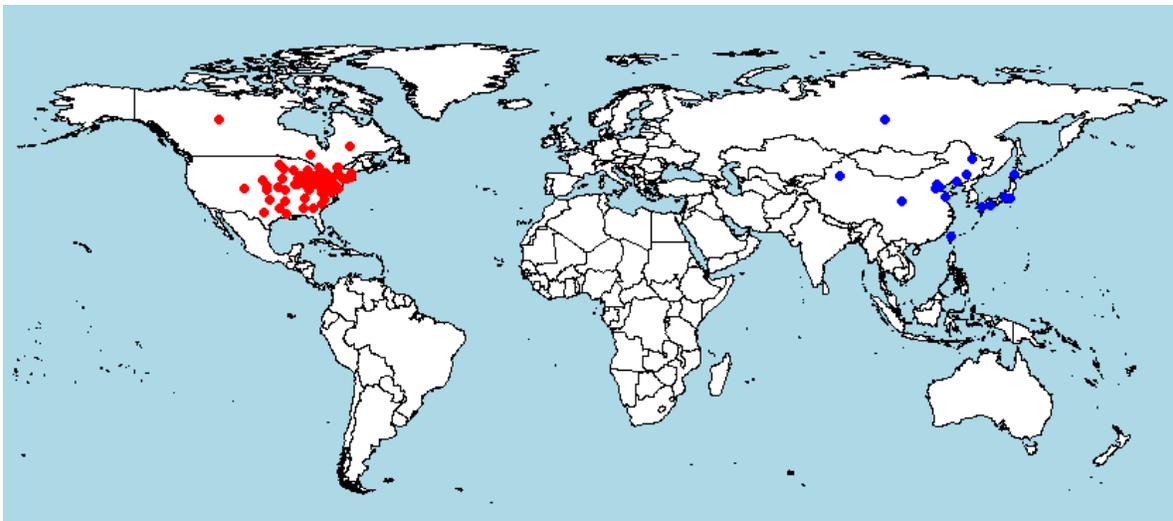


Figura 3.1.2. Distribución de puntos de presencia de *Agrilus planipennis* (puntos rojos indican áreas donde la especie es exótica invasora y puntos azules indican el rango nativo). Los mapas fueron desarrollados por el consultor.

Tabla 3.1.1 Resumen de puntos de presencia recabados por especie.

Especie	Número de puntos totales	Número de puntos después de filtrado	Fuentes
<i>Lymantria dispar</i>	1879	834	CABI, GBIF
<i>Agrilus planipennis</i>	160	108	CABI, GBIF

3.2 Identificación de coberturas ambientales por especie

Las fuentes de datos ambientales evaluadas para selección de variables fueron WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005; <http://www.worldclim.org/>), EarthEnv (Tuanmu & Jetz, 2014) y ME-RRAClim (Vega *et al.*, 2017). Se decidió incluir coberturas bioclimáticas y de cobertura de vegetación porque estos dos factores son determinantes para la distribución de estas especies (CABI 2018a,b). Debido a que hay un alto grado de correlación entre las variables bioclimáticas de las distintas fuentes de datos propuestas para datos bioclimáticos ($r \geq 0.8$), se decidió trabajar solamente con las coberturas de WorldClim. El resumen de las variables utilizadas para la modelación de nichos ecológicos se encuentra en la Tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1. Variables utilizadas en la modelación de nichos ecológicos de *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* para dos conjuntos de datos ambientales (WorldClim, EarthEnv).

Especie	Fuente	Variable			
<i>Lymantria dispar</i>	WorldClim	bio_1	Annual Mean Temperature		
		bio_2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))		
		bio_5	Max Temperature of Warmest Month		
		bio_6	Min Temperature of Coldest Month		
		bio_12	Annual Precipitation		
		bio_13	Precipitation of Wettest Month		
		bio_14	Precipitation of Driest Month		
	EarthEnv	class_1	evergreendeciduousneedleleaftrees		
		class_2	evergreenbroadleaftrees		
		class_3	deciduousbroadleaftrees		
		class_4	mixedothertrees		
		class_7	cultivatedmanagedvegetation		
		<i>Agrilus planipennis</i>	WorldClim	bio_1	Annual Mean Temperature
				bio_2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
bio_5	Max Temperature of Warmest Month				
bio_6	Min Temperature of Coldest Month				
bio_12	Annual Precipitation				
bio_13	Precipitation of Wettest Month				
bio_14	Precipitation of Driest Month				
EarthEnv	class_1		evergreendeciduousneedleleaftrees		
	class_2		evergreenbroadleaftrees		
	class_3		deciduousbroadleaftrees		
	class_4		mixedothertrees		
	class_5		shrubs		
	class_6		herbaceousvegetation		
	class_7		cultivatedmanagedvegetation		
	class_8	regularlyfloodedvegetation			

Adicionalmente, se analizó cuáles son las variables con mayor asociación o importancia a los puntos de presencia de cada especie a través del factor de inflación de la varianza (VIF; Tabla 3.2.2). De acuerdo con lo sugerido en la literatura (Naimi *et al.*, 2014), se consideran

variables importantes aquellas con $VIF < 3$. Esto se hizo con la finalidad de añadir más información a cuáles podrían ser variables de importancia para los puntos de presencia hasta ahora colectados para ambas especies, y que se esperaba contribuyan a la idoneidad de las especies. Tanto la selección de variables como la modelación de nichos ecológicos se hizo con coberturas con resolución espacial de 2.5 minutos (~ 5 km).

Tabla 3.2.2. Variables importantes para *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* a partir del factor de inflación de la varianza (VIF).

Especie	Fuente	Variable	VIF		
<i>Lymantria dispar</i>	WorldClim	bio_3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)	1.769124	
		bio_8	Mean Temperature of Wettest Quarter	2.580373	
		bio_10	Mean Temperature of Warmest Quarter	2.666482	
		bio_2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))	2.926539	
		bio_9	Mean Temperature of Driest Quarter	3.837751	
		bio_13	Precipitation of Wettest Month	4.00398	
		bio_19	Precipitation of Coldest Quarter	4.705815	
		bio_15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	5.876675	
		bio_14	Precipitation of Driest Month	8.681311	
		EarthEnv	class_3	deciduousbroadleaftrees	2.071495
			class_9	urbanbuiltup	2.142159
			class_7	cultivatedmanagedvegetation	2.409874
			class_4	mixedothertrees	3.583696
			class_12	openwater	5.831039
	class_1		evergreendeciduousneedleleaftrees	7.491749	
	MERRAclim	class_11	barren	9.095089	
		bio13	Specific Humidity of most humid Month	1.324968	
		bio_5	Max Temperature of Warmest Month	2.063694	
		bio_3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)	3.603852	
		bio_2	Mean Diurnal Range Temperature	6.04534	
bio14		Specific Humidity of least humid Month	6.212911		
<i>Agrilus planipennis</i>	WorldClim	bio_2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))	1.247766	
		bio_8	Mean Temperature of Wettest Quarter	2.00722	
		bio_12	Annual Precipitation	2.513738	
		bio_4	Temperature Seasonality (standard deviation *100)	3.01217	
		bio_15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	3.309552	
		bio_10	Mean Temperature of Warmest Quarter	3.746071	
		bio_14	Precipitation of Driest Month	4.813071	
		bio_9	Mean Temperature of Driest Quarter	4.895431	
		EarthEnv	class_2	evergreenbroadleaftrees	1.020138
			class_8	regularlyfloodedvegetation	1.021407
			class_5	shrubs	1.055481
			class_12	openwater	1.134201
			class_6	herbaceousvegetation	1.164781
			class_3	deciduousbroadleaftrees	1.236541
	MERRAclim	class_7	cultivatedmanagedvegetation	1.31322	
		class_4	mixedothertrees	1.343805	
		class_1	evergreendeciduousneedleleaftrees	1.467007	
		class_10	snowice	2.257122	
		class_11	barren	2.270858	
		bio_15	Specific Humidity seasonality (Coefficient of variation)	2.108243	
MERRAclim	bio_5	Max Temperature of Warmest Month	2.260296		
	bio_2	Mean Diurnal Range Temperature	2.748555		
	bio_3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)	3.376115		
	bio_12	Annual Mean Specific Humidity	4.421065		

3.3 Área de calibración para los modelos de nicho ecológico

De acuerdo con Barve *et al.* (2011) se diseñaron áreas de calibración de modelos. Esto se hizo a partir de la intersección de los puntos de presencia de cada especie con las ecoregiones terrestres del mundo (Olson *et al.*, 2001). Estas áreas incluyen tanto las regiones de los rangos de distribución nativos como los invadidos.

3.4 Modelado de nicho ecológico

Se calibraron dos modelos de nicho ecológico para cada especie a partir de 1) variables bioclimáticas y 2) una combinación de variables bioclimáticas con variables de uso de suelo. Se consideró importante hacer ambos modelos para abarcar un espectro amplio de factores que determinan la idoneidad de cada especie. La importancia de incluir ambos conjuntos de variables es consistente con la idea poder identificar lugares de idoneidad debido no solamente a variables bioclimáticas sino también de los tipos de vegetación más prevalentes en los sitios donde cada una de estas especies se ha encontrado (véase Tabla 3.2.1). Como se describe en el apartado 3.6, ambos modelos fueron incluidos en los análisis multicriterio como coberturas complementarias de los sitios de alta idoneidad para la distribución y riesgo de establecimiento de las especies. Todos los modelos se corrieron usando el programa Maxent (Phillips *et al.*, 2006). La mejor parametrización para cada modelo en Maxent se exploró utilizando el algoritmo kuenm (<https://github.com/marloncobos/kuenm>; Cobos *et al.*, 2019), el cual hace una búsqueda exhaustiva a partir de todas las parametrizaciones posibles en el algoritmo y los mejores modelos (desde una perspectiva estadística) son aquellos que se eligen para la calibración y transferencia (véase también Muscarella *et al.*, 2014). El desempeño de los modelos de nicho ecológico se evaluó usando la métrica de ROC parcial (Peterson *et al.*, 2008).

Previamente a la calibración de los modelos de nicho ecológico, los puntos de presencia se filtraron espacialmente con un radio de 20 Km para asegurar que no hubiera un sesgo de autocorrelación espacial en las presencias y combinaciones ambientales y así lograr una mejor representación de los ambientes que son favorables para las especies y que los modelos no se sobre ajustaran a los puntos de calibración. El número de puntos utilizados en la calibración de cada especie posterior al filtrado espacial se resume en la Tabla 3.1.1; para *L. dispar* se usaron 834 puntos para la calibración del modelo y para *A. planipennis* se usaron 108 puntos.

3.5 Mapas de riesgo por especie: evaluación espacial multicriterio

Para llevar a cabo la obtención de los escenarios de riesgo por especie finales, se realizó un análisis multicriterio en el programa Ilwis ver. 3.8 (<http://52north.org/communities/ilwis>; Figura 3.5.1). Para ello se consideraron los siguientes factores y respectivos pesos y tipo de estandarización entre paréntesis:

- 1) mapa del clima idóneo para la especie (0.3, beneficio-convexa),
- 2) mapa de idoneidad bioclimática y de cobertura de vegetación (0.4, beneficio-máximo),
- 3) mapa de número de árboles (0.2, beneficio-convexa),
- 4) mapa de índice de impactos antropogénicos y de estrés a los ecosistemas (MEXBIO; 0.1, combinación-forma de U invertida).

La cobertura de número de árboles se estimó a partir del mapa generado por Crowther y colaboradores (2015), que corresponde a una estimación del número de árboles que hay en el territorio por km². La cobertura de índice de impacto antropogénico (MEXBIO) es un modelo espacial de las relaciones entre los factores de presión que afectan la biodiversidad de México y está basado en el marco teórico del Modelo Global de Biodiversidad (GLOBIO3, por sus siglas en inglés; Alkemade *et al.*, 2009); este incluye factores de presión más relevantes, incluido el uso de la tierra, la infraestructura, la fragmentación y el cambio climático. Las cuatro capas descritas anteriormente para inclusión en la evaluación espacial multicriterio se consideran importantes para el potencial establecimiento de las especies ya que incluyen tanto la parte de su nicho ecológico como de las condiciones de hábitat que le favorecen. Una aproximación similar se ha realizado en otros trabajos para insectos con potencial invasor en México (Lira-Noriega *et al.*, 2018). El mapa resultado del análisis multicriterio por especie fue escalado entre 0 y 1 y posteriormente fueron reclasificados en seis categorías usando la siguiente escala: 5 = Muy Alto (1-0.8), 4 = Alto (0.8-0.6), 3 = Medio (0.6-0.4), 2 = Bajo (0.4-0.2), y 1 = Muy Bajo (0.2-0.1).

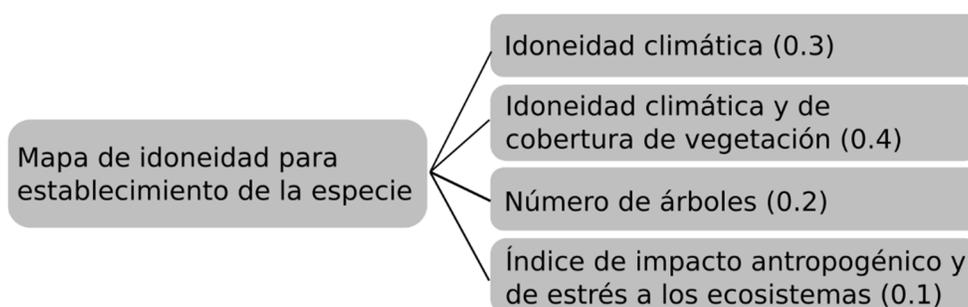


Figura 3.5.1. Estructura del árbol multicriterio y pesos asignados a las variables utilizadas. Fuente: elaboración propia del consultor.

3.6 Hospederos reportados para *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis* y valor promedio de riesgo

Para calcular el nivel de riesgo de los hospederos lo primero que se hizo fue obtener las coordenadas geográficas de todas las especies que se han reportado como hospederos de *Agrilus planipennis* y de *Lymantria dispar*. Sobre dichas coordenadas se extrajo el valor de categoría obtenido en el mapa descrito en el punto 3.5 por especie de insecto y se obtuvo la media y el rango de valor para las coordenadas de cada especie de hospedero, a partir del cual se puede evaluar como primera instancia en qué grado de vulnerabilidad caen las especies.

4 Resultados y Discusión

4.1 Mapas de riesgo por especie

El análisis multicriterio de la distribución de las idoneidades por especie (Figuras 4.1 y 4.2) mostró que las zonas vulnerables para *L. dispar* y *A. planipennis* se traslapan poco, y hay

extensiones mayores de riesgo para la especie *A. planipennis* en México, sobre todo hacia el sur y sureste del país, que para *L. dispar*. El riesgo para *A. planipennis* se concentra principalmente en la Sierra Madre Oriental al sur de Nuevo León, la parte centro-norte de Veracruz, sur de Morelos y Guerrero, Oaxaca y Chiapas casi en su totalidad, y el noroeste de la península de Yucatán, una parte del altiplano mexicano en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo y la región sur de la península de Baja California. El mapa de *Lymantria dispar* muestra zonas de mayor idoneidad hacia la región del altiplano mexicano, extendiéndose principalmente hacia la Sierra Madre Occidental en el oeste de Durango, Chihuahua y sur de Zacatecas, y también hacia la parte sur de Nuevo León, noroeste de San Luis Potosí, Aguascalientes, y serranías de Oaxaca y Chiapas, la porción central de Quintana Roo y la porción noroccidental de Baja California.

Una de las ventajas de los análisis multicriterio es que pueden modificarse los pesos y formas de estandarizar las coberturas utilizadas. Para ambas especies se decidió que el mayor peso lo debería llevar el mapa de idoneidad obtenido a partir del modelo que combina coberturas bioclimáticas y cobertura vegetal, seguido del mapa de idoneidad del modelo basado solamente en coberturas bioclimáticas. Esto hace que haya una mejor representación de condiciones donde se sabe que la especie podría establecerse dados los puntos de presencia donde se ha registrado junto con sus límites de tolerancia climático. Los otros dos factores corresponden al número de árboles y a un factor de impacto antropogénico. Ambos son importantes componentes de estas dos especies, el primero porque representa condiciones de hábitat forestal que podría verse afectado, seguido de un factor de estrés en ecosistemas naturales, el cual es importante por hacerlos más vulnerables al ataque de plagas y patógenos forestales en general. En este sentido, los mapas son perfectibles y pueden volver a correrse o ajustarse si los criterios de peso por variable o nuevas variables se incorporaran.

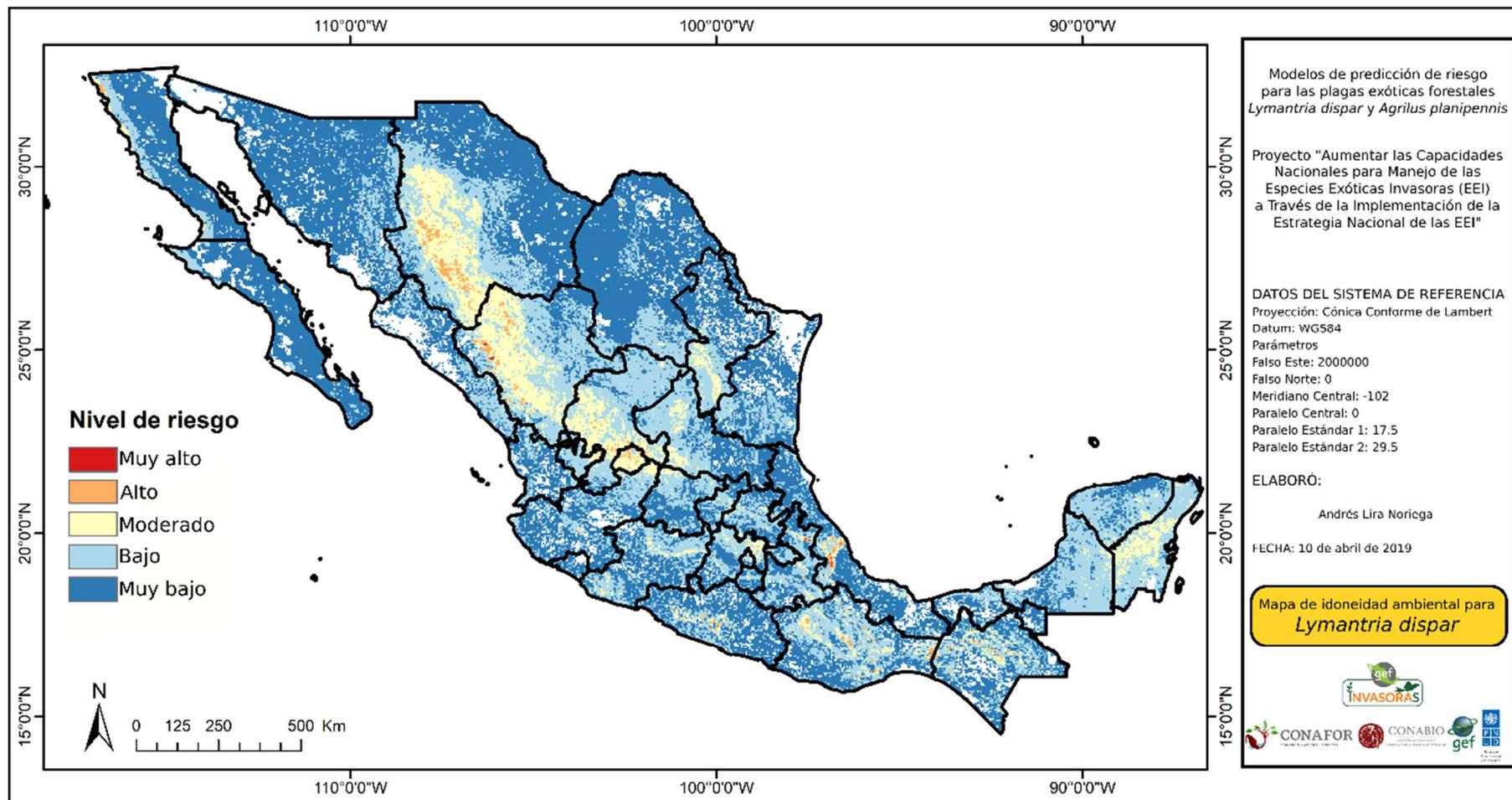


Figura 4.1. Mapa de riesgo cualitativo para *Lymantria dispar*. Donde 0 = Nulo, 1 = Muy Bajo, 2 = Bajo, 3 = Medio, 4 = Alto, 5 = Muy Alto.
 Fuente: elaboración propia del consultor.

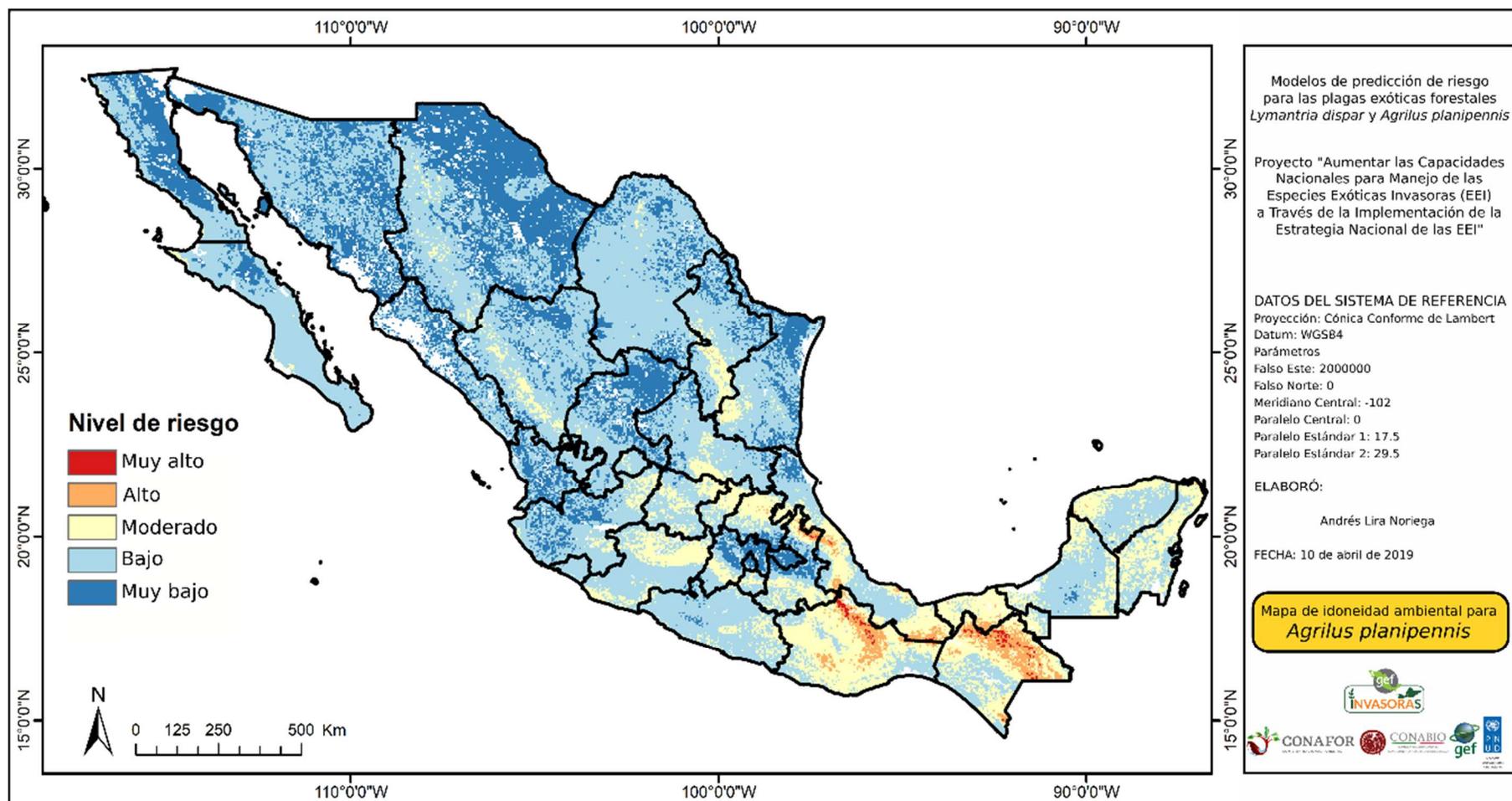


Figura 4.2. Mapa de riesgo cualitativo para *Agrilus planipennis*. Donde 0 = Nulo, 1 = Muy Bajo, 2 = Bajo, 3 = Medio, 4 = Alto, 5 = Muy Alto. Fuente: elaboración propia del consultor.

4.2 Hospederos reportados para *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis*

La lista de hospederos reportados para *Lymantria dispar* se muestra en la Tabla 4.2.1 y de los hospederos para *Agrilus planipennis* se muestra en la Tabla 4.2.2 Las especies listadas en la Tabla 4.2.1 son de importancia agrícola y forestal de acuerdo con la información del Plan de Acción para Vigilancia y Aplicación de Medidas de Control Contra la Palomilla Gitana *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidae) en México de SAGARPA-SENASICA (2016). De estas especies de hospederos se encontró que son pocas las especies para las que existe información de coordenadas geográficas de su distribución en México. La búsqueda de puntos de presencia de los hospederos de estas dos especies se hizo a través del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB; <http://www.snib.mx/>) y el Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <https://www.gbif.org/>). Los valores de riesgo promedio y su rango para las especies de hospederos para *Lymantria dispar* para las cuales existen coordenadas de presencia en territorio nacional se encuentran en la Tabla 4.2.3 y para los hospederos de *Agrilus planipennis* en la Tabla 4.2.4. La distribución de las coordenadas de estos hospederos se resume en las figuras 4.2.5 y 4.2.6.

De acuerdo con los análisis de distribuciones puntuales de hospederos en México, las 10 especies de hospederos para *Lymantria dispar* con mayor valor de riesgo promedio son *Populus nigra*, *Prunus salicina*, *Pseudotsuga menziesii*, *Populus tremuloides*, *Vaccinium cespitosum*, *Fagus grandifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Picea engelmannii*, *Prunus domestica*, *Acer negundo*, y las 10 especies de hospederos para *Agrilus planipennis* con mayor valor de riesgo promedio son *Tectaria incisa*, *Coccocypselum hirsutum*, *Hypericum mutilum*, *Cirsium ehrenbergii*, *Pseudosmodingium perniciosum*, *Sorghum halepense*, *Fraxinus Americana*, *Lepidozia reptans*, *Solanum angustifolium*, *Fraxinus pennsylvanica*.

Tabla 4.2.1 Hospederos de *Lymantria dispar* de importancia para México de acuerdo con SAGARPA-SENASICA (2016) y CABI (2018b). ** Denota que se trata de un hospedero principal.

Importancia	Familia	Especie	Nombre común	SAGARPA	CABI
Forestal	Aceraceae	<i>Acer negundo</i>	Arce negundo	*	*
Forestal	Aceraceae	<i>Acer platanoides</i>	Arce de noruega	*	*
Forestal	Aceraceae	<i>Acer rubrum</i>	Arce rojo	*	*
Forestal	Aceraceae	<i>Acer saccharinum</i>	Arce plateado	*	*
Forestal	Aceraceae	<i>Acer saccharum</i>	Arce azucarero	*	*
Forestal	Anacardiaceae	<i>Cotinus coggygria</i>	Árbol de las pelucas	*	*
Forestal	Anacardiaceae	<i>Cotinus obovatus</i>	Árbol del humo americano	*	*
Agrícola	Anacardiaceae	<i>Pistacia vera</i>	Pistache	*	*
Forestal	Anacardiaceae	<i>Rhus copallina</i>	Sumac luminoso	*	*
Forestal	Anacardiaceae	<i>Rhus glabra</i>	Sumac liso	*	*
Forestal	Anacardiaceae	<i>Rhus typhina</i>	Cuerno de ciervo sumac	*	*
Forestal	Betulaceae	<i>Alnus alnobetula</i>			*

Forestal	Betulaceae	<i>Alnus incana</i>	Aliso gris	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Alnus maritima</i>	Aliso del mar	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Alnus oblongifolia</i>	Aliso de Arizona	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Alnus rubra</i>	Aliso rojo	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Alnus serrulata</i>			*
Forestal	Betulaceae	<i>Alnus spp.</i>	Alisos	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula alleghaniensis</i>			*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula lenta</i>			*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula nigra</i>			*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula occidentalis</i>			*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula papyrifera</i>	Abedul del papel	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula pendula</i>	Abedul común plateado	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula populifolia</i>	Abedul gris	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula pumila</i>	Abedul de pantano	**	*
Forestal	Betulaceae	<i>Betula spp.</i>	Abedules	**	
Forestal	Betulaceae	<i>Carpinus spp.</i>	Carpes	*	
Forestal	Betulaceae	<i>Corylus americana</i>	Avellano americano	*	*
Forestal	Betulaceae	<i>Corylus avellana</i>	Avellano común	*	*
Forestal	Betulaceae	<i>Corylus cornuta</i>			*
Forestal	Betulaceae	<i>Ostrya virginiana</i>	Palo de hierro	*	*
Forestal	Cannabaceae	<i>Celtis spp.</i>	Almez	*	
Agrícola	Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	Pérsimo	*	
Agrícola	Ericaceae	<i>Vaccinium spp.</i>	Arándanos	*	
Forestal	Fabaceae	<i>Lespedeza spp.</i>	Trébol japonés	*	
Forestal	Fabaceae	<i>Robinia pseudoacacia</i>			
Forestal	Fabaceae	<i>Robinia spp.</i>	Falsa acacia	*	
Forestal	Fabaceae	<i>Wisteria spp.</i>	Glicina	*	
Forestal	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i>	Castaño	*	*
Forestal	Fagaceae	<i>Castanopsis spp.</i>	Chinquapín	*	
Forestal	Fagaceae	<i>Fagus grandifolia</i>	Haya americana	*	*
Forestal	Fagaceae	<i>Fagus sylvatica</i>	Haya común	*	*
Forestal	Fagaceae	<i>Lithocarpus edulis</i>			
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus alba</i>	Roble blanco	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus austrina</i>		**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus bicolor</i>	Roble blanco de los pantanos	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus coccinea</i>	Roble escarlata	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus ellipsoidalis</i>		**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus garryana</i>	Roble blanco de oregon	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus ilex</i>	Encina	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus ilicifolia</i>	Roble oso	**	*

Forestal	Fagaceae	<i>Quercus lobata</i>	Roble de los valles	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus montana</i>	Roble castaño	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus muehlenbergii</i>	Roble chinquapin	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus palustris</i>	Roble palustre	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus petraea</i>	Roble de invierno	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus robur</i>	Roble común	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus rubra</i>	Roble rojo americano	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus spp.</i>	Robles	**	
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus suber</i>	Alcornoque amarillo	**	*
Forestal	Fagaceae	<i>Quercus velutina</i>	Roble negro	**	*
Forestal	Hamamelidaceae	<i>Hamamelis virginiana</i>	Avellano de bruja	*	*
Forestal	Hamamelidaceae	<i>Liquidambar spp.</i>	Liquidambar	**	
Forestal	Hamamelidaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar americano	**	*
Agrícola	Juglandaceae	<i>Juglans spp.</i>	Nogales	*	
Forestal	Moraceae	<i>Morus spp.</i>	Morera	*	
Forestal	Myrtaceae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>			
Forestal	Oleaceae	<i>Fraxinus spp.</i>	Fresnos	*	
Forestal	Pinaceae	<i>Cedrus libani</i>			
Forestal	Pinaceae	<i>Larix decidua</i>	Alerce europeo	**	*
Forestal	Pinaceae	<i>Larix kaempferi</i>	Alerce de Japón	**	*
Forestal	Pinaceae	<i>Larix laricina</i>	Alerce americano	**	*
Forestal	Pinaceae	<i>Larix lyallii</i>	Alerce subalpino	**	*
Forestal	Pinaceae	<i>Larix occidentalis</i>	Alerce americano occidental	**	*
Forestal	Pinaceae	<i>Larix sibirica</i>	Alerce siberiano	**	
Forestal	Pinaceae	<i>Larix spp.</i>	Alerce	**	
Forestal	Pinaceae	<i>Picea glauca</i>			*
Forestal	Pinaceae	<i>Picea jezoensis</i>			*
Forestal	Pinaceae	<i>Picea mariana</i>			*
Forestal	Pinaceae	<i>Picea rubens</i>			*
Forestal	Pinaceae	<i>Picea spp.</i>	Píceas	*	
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus brutia</i>	Pino de Chipre	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus contorta</i>	Pino torcido	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus echinata</i>	Pino de hoja corta	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus resinosa</i>	Pino rojo americano	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus rigida</i>	Pino bronco	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus strobus</i>	Pino estrobo	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i>	Pino silvestre	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pinus taeda</i>	Pino de incienso	*	*
Forestal	Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>			
Forestal	Platanaceae	<i>Platanus acerifolia</i>			

Forestal	Rosaceae	<i>Crateagus spp.</i>	Espinos	*	
Agrícola	Rosaceae	<i>Cydonia spp.</i>	Membrillo	*	
Agrícola	Rosaceae	<i>Eriobotrya spp.</i>	Níspero	*	
Agrícola	Rosaceae	<i>Malus angustifolia</i>		**	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Malus coronaria</i>	Manzana silvestre dulce	**	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Malus domestica</i>			*
Agrícola	Rosaceae	<i>Malus fusca</i>	Manzana silvestre del pacífico	**	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Malus ioensis</i>	Manzana silvestre de la pradera	**	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Malus spp.</i>	Manzana	**	
Agrícola	Rosaceae	<i>Prunus armeniaca</i>	Chabacano	*	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Prunus domestica</i>	Ciruelo europeo	*	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Prunus salicina</i>	Ciruelo chino	*	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Prunus serotina</i>	Capulín	*	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Prunus serrulata</i>	Cerezo de flor japonés	*	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Pyrus communis</i>	Pera	*	*
Agrícola	Rosaceae	<i>Rosa spp.</i>	Rosal	*	
Agrícola	Rosaceae	<i>Rubus spp.</i>	Zarzamora	*	
Forestal	Rosaceae	<i>Sorbus americana</i>	Fresno americano de la montaña	**	*
Forestal	Rosaceae	<i>Sorbus aucuparia</i>	Fresno de la montaña	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Populus angustifolia</i>	Álamo de hojas de sauce	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Populus balsamifera</i>	Álamo balsámico	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Populus deltoides</i>			*
Forestal	Salicaceae	<i>Populus grandidentata</i>	Álamo americano de hoja dentada	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Populus heterophylla</i>	Álamo de pantano	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Populus nigra</i>	Álamo negro	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Populus spp.</i>	Álamos	**	
Forestal	Salicaceae	<i>Populus tremuloides</i>	Álamo temblón	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Salix alba</i>	Sauce blanco	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Salix babylonica</i>	Sauce llorón	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Salix discolor</i>	Cola de gato	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Salix fragilis</i>	Mimbrera	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Salix nigra</i>	Sauce negro	**	*
Forestal	Salicaceae	<i>Salix spp.</i>	Sauces	**	
Forestal	Salicaceae	<i>Xylosma spp.</i>	Cepillo de acebo	*	
Forestal	Sapindaceae	<i>Litchi chinensis</i>			
Forestal	Theaceae	<i>Eurya spp.</i>		*	
Forestal	Tiliaceae	<i>Tilia americana</i>	Tilo americano	**	*
Forestal	Tiliaceae	<i>Tilia cordata</i>	Tilo de hoja pequeña	**	*

Forestal	Tiliaceae	<i>Tilia spp.</i>	Tilos	**
Forestal	Ulmaceae	<i>Ulmus spp.</i>	Olmo	**
Forestal	Ulmaceae	<i>Zelkova spp.</i>	Zelkova	*

Tabla 4.2.2. Hospederos reportados para *Agrilus planipennis*. Fuente: CABI, 2018a. Se desconocen las especies que son hospedero principal.

Familia	Especie	Nombre común
Acanthaceae	<i>Justicia carnea</i>	
Adoxaceae	<i>Sinadoxa corydalifolia</i>	
Alismataceae	<i>Baldellia repens</i>	
Anacardiaceae	<i>Pseudosmodium perniciosum</i>	Cuajote, pirulillo, pirú del cerro, telto-teblanco, xhonguo
Annonaceae	<i>Artabotrys hexapetalus</i>	Climbing Ylang Ylang
Annonaceae	<i>Guatteria talamancana</i>	
Annonaceae	<i>Milusa horsfieldii</i>	
Apiaceae	<i>Ligusticum jeholense</i>	Raíz de Ligusticum
Apiaceae	<i>Lomatium ambiguum</i>	
Apocynaceae	<i>Cibirhiza albersiana</i>	Driftwood Plant
Apocynaceae	<i>Mandevilla martiana</i>	Dipladenia; Mandevilla; Jazmín chileno; Jazmín argentino
Araceae	<i>Lemna perpusilla</i>	
Asteraceae	<i>Blumea balsamifera</i>	
Asteraceae	<i>Blumea brevipes</i>	
Asteraceae	<i>Chrysophthalmum gueneri</i>	
Asteraceae	<i>Cirsium ehrenbergii</i>	
Asteraceae	<i>Cratystylis conocephala</i>	
Asteraceae	<i>Cremanthodium humile</i>	
Asteraceae	<i>Haplocarpha rueppellii</i>	
Asteraceae	<i>Hieracium laevigatum</i>	
Asteraceae	<i>Monolopia major</i>	
Asteraceae	<i>Olearia albida</i>	Ake ake
Asteraceae	<i>Parasenecio cyclotus</i>	
Asteraceae	<i>Pterochaeta paniculata</i>	
Asteraceae	<i>Solidago caesia</i>	Solidago; Vara de oro; Plumero amarillo
Balsaminaceae	<i>Impatiens occultans</i>	
Boraginaceae	<i>Myosotis laxa ssp. caespitosa</i>	
Brassicaceae	<i>Athysanus pusillus</i>	Sandweed
Bromeliaceae	<i>Canistrum perplexum</i>	Bromelia
Bromeliaceae	<i>Tillandsia albertiana</i>	Bromelia
Casuarinaceae	<i>Allocasuarina mackliniana</i>	

Chenopodiaceae	<i>Kalidium caspicum</i>	
Costaceae	<i>Costus amazonicus</i>	Cañagria
Cucurbitaceae	<i>Ampelosycios humblotii</i>	
Cunoniaceae	<i>Platylophus trifolius</i>	
Dipterocarpaceae	<i>Shorea agami</i>	
Dipterocarpaceae	<i>Shorea beccariana</i>	
Droseraceae	<i>Drosera glanduligera</i>	Pimpernel sundew
Ericaceae	<i>Gaultheria antarctica</i>	
Ericaceae	<i>Satyria ventricosa</i>	
Escalloniaceae	<i>Anopterus glandulosus</i>	Laurel
Fabaceae	<i>Acacia terminalis</i>	
Fabaceae	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	Bocha, prostrate Canary clover, badassi
Fabaceae	<i>Genista carinalis</i>	
Fabaceae	<i>Mirbelia dilatata</i>	
Fabaceae	<i>Tephrosia heckmanniana</i>	
Fabaceae	<i>Trigonella balansae</i>	Fenogreco cultivado
Fabaceae	<i>Viminaria juncea</i>	
Haloragaceae	<i>Haloragodendron lucasii</i>	
Hamamelidaceae	<i>Fothergilla major</i>	
Hypericaceae	<i>Hypericum mutilum</i>	
Iridaceae	<i>Herbertia pulchella</i>	
Iridaceae	<i>Moraea falcifolia</i>	
Juglandaceae	<i>Juglans mandshurica</i>	Nuez de manchuria y nogal chino
Juglandaceae	<i>Pterocarya rhoifolia</i>	Nuez alado japonés
Juncaceae	<i>Luzula arcuata</i>	
Lamiaceae	<i>Salvia viridis</i>	Salvia pintada, salvia clary anual, salvia romana anual y orval
Lamiaceae	<i>Thymbra spicata</i>	Tomillo con pinchos, zatar y satar
Lauraceae	<i>Dicypellium caryophyllaceum</i>	
Lepidoziaceae	<i>Lepidozia reptans</i>	
Loganiaceae	<i>Strychnos arborea</i>	
Loganiaceae	<i>Strychnos diplotricha</i>	
Malvaceae	<i>Goethalsia meiantha</i>	
Malvaceae	<i>Gossypium anomalum</i>	
Malvaceae	<i>Hibiscus sturtii</i>	Rosa China
Marantaceae	<i>Goeppertia metallica</i>	
Melanthiaceae	<i>Ypsilandra thibetica</i>	
Meliaceae	<i>Calodectarya crassifolia</i>	

Montiaceae	<i>Cistanthe guadalupensis</i>	
Moraceae	<i>Morus serrata</i>	
Myricaceae	<i>Myrica hartwegii</i>	
Myrtaceae	<i>Backhousia citriodora</i>	Lemon myrtle, lemon scented myrtle, lemon scented ironwood)
Myrtaceae	<i>Melaleuca arcana</i>	Mirto
Oleaceae	<i>Chionanthus virginicus</i>	Fringetree
Oleaceae	<i>Fraxinus americana</i>	Fresno americano o fresno blanco
Oleaceae	<i>Fraxinus chinensis</i>	Fresno de China, de Corea o árbol de Urapán
Oleaceae	<i>Fraxinus excelsior</i>	Fresno norteño, fresno común o fresno de hoja ancha
Oleaceae	<i>Fraxinus lanuginosa</i>	
Oleaceae	<i>Fraxinus mandshurica</i>	
Oleaceae	<i>Fraxinus nigra</i>	Fresno negro, fresno canasta, fresno pardo, fresno pantano, aro de ceniza y agua y cenizas
Oleaceae	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Fresno rojo americano o Fresno verde
Oleaceae	<i>Fraxinus profunda</i>	
Oleaceae	<i>Fraxinus quadrangulata</i>	
Oleaceae	<i>Fraxinus velutina</i>	Fresno de velvet, fresno de arizona ceniza, fresno modesto, fresno del desierto y fresno aterciopelado
Orchidaceae	<i>Dendrobium secundum</i>	Toothbrush orchid
Orchidaceae	<i>Disa vigilans</i>	
Orchidaceae	<i>Kefersteinia microcharis</i>	
Orchidaceae	<i>Maxillaria striata</i>	Orquídea
Orchidaceae	<i>Omoea philippinensis</i>	
Orchidaceae	<i>Orchis militaris</i>	Orquídea militar
Orchidaceae	<i>Pabstiella yauaperyensis</i>	
Plantaginaceae	<i>Veronica raoulii</i>	
Plumbaginaceae	<i>Armeria cariensis</i>	
Poaceae	<i>Festuca luciarum</i>	
Poaceae	<i>Perotis indica</i>	
Poaceae	<i>Sorghum halepense</i>	Cañota, hierba johnson, pasto johnson, sorguillo, canuto, pasto ruso, paja johnson, zacate johnson, pasto silvestre, sorgo silvestre, sorgo de Alepo
Restionaceae	<i>Centrolepis monogyna</i>	Madam Howard's Centrolepis
Restionaceae	<i>Loxocarya gigas</i>	
Restionaceae	<i>Restio similis</i>	
Rhamnaceae	<i>Spyridium nitidum</i>	

Rosaceae	<i>Potentilla argentea</i>	Mil en rama
Rubiaceae	<i>Coccocypselum hirsutum</i>	Mortiño de Culebra
Salicaceae	<i>Laetia procera</i>	Manga larga colorada
Santalaceae	<i>Santalum spicatum</i>	Sándalo
Sapindaceae	<i>Zanha africana</i>	
Sapotaceae	<i>Planchonella cinerea</i>	
Saxifragaceae	<i>Astilbe rubra</i>	False goat's beard and false spirea
Scrophulariaceae	<i>Aptosimum indivisum</i>	Karoo Violet, Karooviooltjie, Veld Violet, Wild Violet
Solanaceae	<i>Dunalia spinosa</i>	Huajala
Solanaceae	<i>Solanum angustifolium</i>	Hierba de sapo
Tectariaceae	<i>Tectaria incisa</i>	
Ulmaceae	<i>Ulmus davidiana</i>	The david elm
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>	Vid o parra
Winteraceae	<i>Tasmannia vickeriana</i>	Baw Baw pepper

Tabla 4.2.3. Valores de nivel de riesgo para hospederos de *Lymantria dispar* presentes en México. Donde 0 = Nulo, 1 = Muy Bajo, 2 = Bajo, 3 = Medio, 4 = Alto, 5 = Muy Alto. Fuente: elaboración propia del consultor.

Especie de hospedero	Promedio	Máximo	Mínimo
<i>Acer negundo</i>	0.312938597	0.766666665	0
<i>Acer saccharinum</i>	0.200000001	0.366666674	0.116666664
<i>Acer saccharum</i>	0.209523811	0.750000014	0.049999999
<i>Alnus oblongifolia</i>	0.306097563	0.566666657	0.1
<i>Castanea sativa</i>	0.150000002	0.150000002	0.150000002
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.285333336	0.550000006	0.016666666
<i>Fagus grandifolia</i>	0.340350879	0.766666665	0.083333331
<i>Hamamelis virginiana</i>	0.271929823	0.466666653	0.049999999
<i>Larix decidua</i>	0.266666667	0.266666667	0.266666667
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.2669624	0.700000012	0.049999999
<i>Litchi chinensis</i>	0.182051278	0.199999992	0.166666666
<i>Malus domestica</i>	0.150000002	0.150000002	0.150000002
<i>Malus pumila</i>	0.258333338	0.366666674	0.150000002
<i>Ostrya virginiana</i>	0.264842048	0.900000002	0.016666666
<i>Picea engelmannii</i>	0.316049385	0.483333353	0.033333332
<i>Picea glauca</i>	0.116666664	0.116666664	0.116666664
<i>Pinus contorta</i>	0.286821702	0.416666651	0.083333331
<i>Pinus strobus</i>	0.286074564	0.683333311	0.066666668
<i>Pinus sylvestris</i>	0.199999992	0.199999992	0.199999992
<i>Pistacia vera</i>	0.208333333	0.333333322	0.133333339
<i>Populus angustifolia</i>	0.302380957	0.450000002	0.216666668

<i>Populus balsamifera</i>	0.211111111	0.383333324	0.133333339
<i>Populus deltoides</i>	0.152083332	0.416666651	0.033333332
<i>Populus nigra</i>	0.408333338	0.65000001	0.166666666
<i>Populus tremuloides</i>	0.358462867	0.666666661	0.049999999
<i>Prunus armeniaca</i>	0.252469135	0.533333355	0.116666664
<i>Prunus domestica</i>	0.314529916	0.833333317	0.166666666
<i>Prunus salicina</i>	0.4	0.4	0.4
<i>Prunus serotina</i>	0.287063034	0.783333315	0.016666666
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.378226558	0.90000002	0.033333332
<i>Pyrus communis</i>	0.27	0.550000006	0.133333339
<i>Quercus ellipsoidalis</i>	0.299999996	0.299999996	0.299999996
<i>Quercus muehlenbergii</i>	0.187037036	0.416666651	0.016666666
<i>Quercus suber</i>	0.294444445	0.366666674	0.233333343
<i>Rhus glabra</i>	0.295454544	0.4	0.199999992
<i>Rhus typhina</i>	0.116666664	0.116666664	0.116666664
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.336363634	0.616666659	0.150000002
<i>Salix babylonica</i>	0.296296297	0.65000001	0.150000002
<i>Salix discolor</i>	0.273700306	0.700000012	0.049999999
<i>Salix nigra</i>	0.153630362	0.516666655	0.016666666
<i>Tilia americana</i>	0.260612855	0.90000002	0.016666666
<i>Tilia cordata</i>	0.264285713	0.383333324	0.199999992
<i>Vaccinium cespitosum</i>	0.344444442	0.416666651	0.249999994
<i>Vaccinium leucanthum</i>	0.288888891	0.383333324	0.133333339
<i>Vaccinium stenophyllum</i>	0.237499994	0.249999994	0.199999992

Tabla 4.2.4. Valores de nivel de riesgo para hospederos de *Agrilus planipennis* presentes en México. Donde 0 = Nulo, 1 = Muy Bajo, 2 = Bajo, 3 = Medio, 4 = Alto, 5 = Muy Alto. Fuente: elaboración propia del consultor.

Especie de hospedero	Promedio	Máximo	Mínimo
<i>Athysanus pusillus</i>	0.203124998	0.328124998	0.156249999
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	0.339936317	0.546875022	0.125000006
<i>Coccocypselum hirsutum</i>	0.498111977	0.843750019	0.062500001
<i>Fraxinus americana</i>	0.273437501	0.406250017	0.156249999
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	0.234375001	0.31249999	0.125000006
<i>Fraxinus velutina</i>	0.222259963	0.421875002	0.09375
<i>Hypericum mutilum</i>	0.413825757	0.64062498	0.265625011
<i>Justicia carnea</i>	0.218750001	0.515625006	0.09375
<i>Lemna perpusilla</i>	0.210937505	0.218750009	0.203125001
<i>Lepidozia reptans</i>	0.265624995	0.281249996	0.234374994
<i>Pseudosmodingium perniciosum</i>	0.334621711	0.50000002	0.09375
<i>Solanum angustifolium</i>	0.263636705	0.718749998	0.062500001
<i>Sorghum halepense</i>	0.313432077	0.812499955	0.046874999

<i>Tectaria incisa</i>	0.512499996	0.859375004	0.234374994
<i>Vitis vinifera</i>	0.226562505	0.359374992	0.125000006

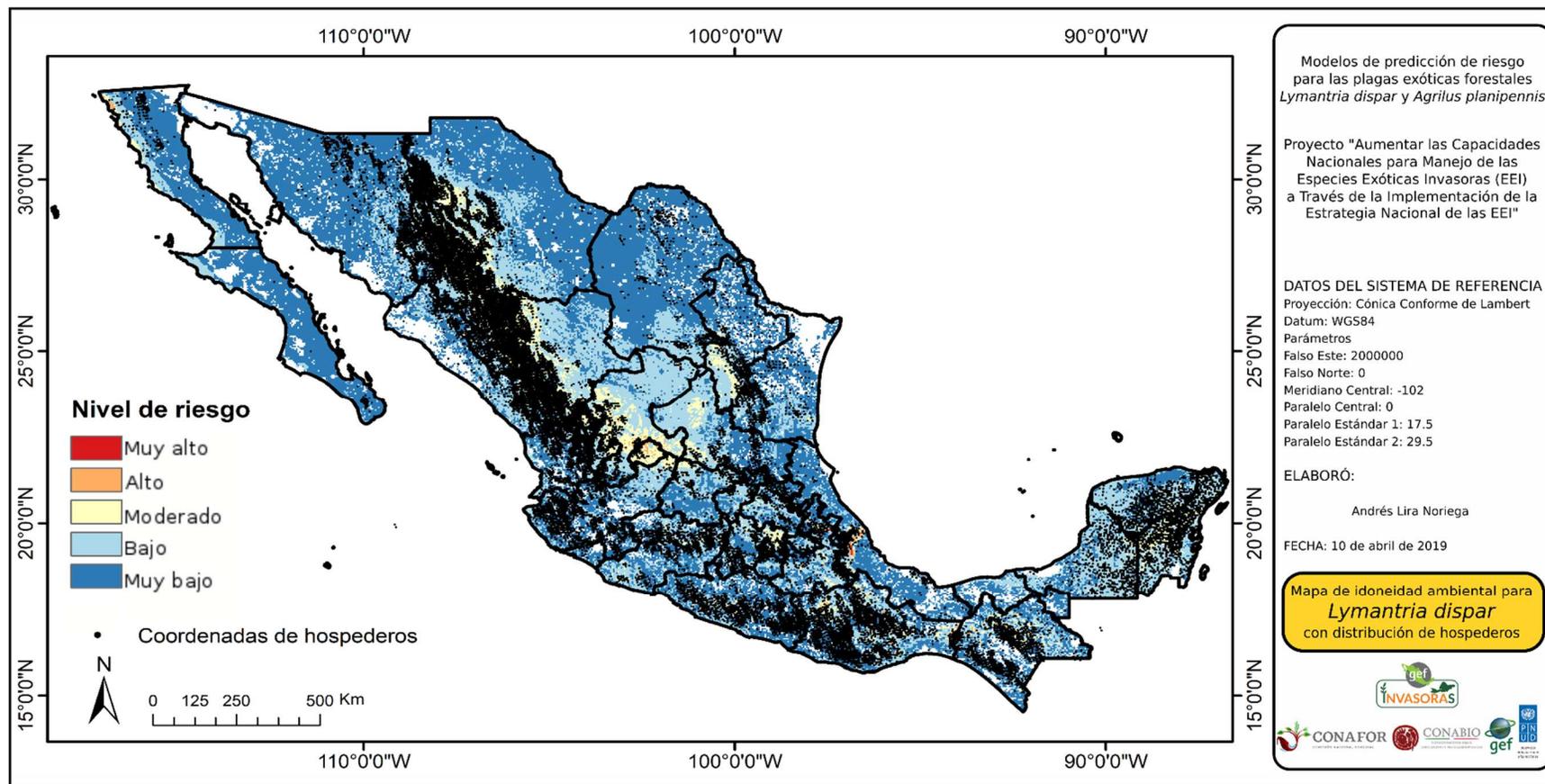


Figura 4.2.5. Distribución de coordenadas de presencia de hospederos de *Lymantria dispar* en relación con el mapa de riesgo de establecimiento de esta especie. Fuente: elaboración propia del consultor; las coordenadas de los hospederos provienen del SNIB (CONABIO) y GBIF.

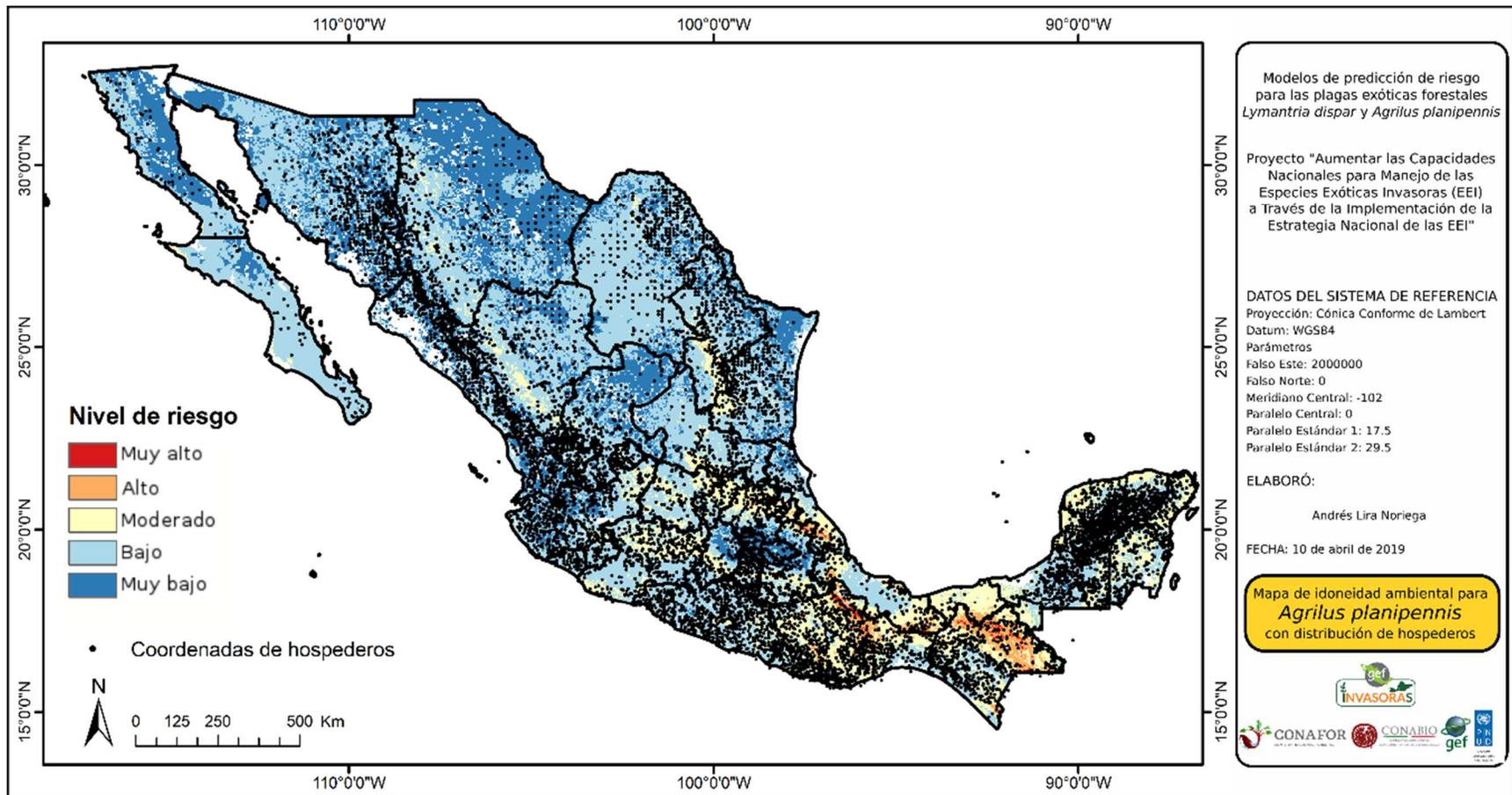


Figura 4.2.6. Distribución de coordenadas de presencia de hospederos de *Agrilus planipennis* en relación con el mapa de riesgo de establecimiento de esta especie. Fuente: elaboración propia del consultor; las coordenadas de los hospederos provienen del SNIB (CONABIO) y GBIF.

4.3 Posibles medios de introducción y rutas de dispersión para *Lymantria dispar* y *Agrilus planipennis*

Ambas especies podrían tener distintos puntos de introducción y rutas de dispersión en el país. Debido a que la especie *Lymantria dispar* se encuentra asociada a cultivos forestales comerciales de árboles de navidad (NOM-013-SEMARNAT-2010), es preciso realizar vigilancia en puertos de ingreso de este tipo de mercancía, en zonas de frontera y otros puertos, especialmente en época navideña o en fechas en las que se conozca que hay flujo de mercancía que pudiera estar infectada. La Norma Oficial Mexicana (NOM-013-SEMARNAT-2010) indica alto grado de vulnerabilidad cuando se trata de importación de árboles de navidad naturales de las especies de los géneros *Pinus*, *Abies* y la especie *Pseudotsuga menziesii*. Para el caso de especies del género *Agrilus* hay evidencia de ingreso por material de embalaje, mercancía asociada a cultivos de vid y otros medios como embarcaciones (CABI, 2018a). Estas especies tienen altas capacidades de vuelo y son resistentes, y pueden alcanzar distancias poco menores a 1 km por año (CABI, 2018a; Cappaert *et al.*, 2005). De la misma forma que *L. dispar*, esta especie es frecuentemente dispersada artificialmente por causas antropogénicas asociadas a movimiento de madera o leña infestada (troncos, etc.). Para evitar una dispersión más acelerada deben evitarse el movimiento de leña o madera en zonas donde esta plaga ya esté presente.

Es importante enfatizar que la vulnerabilidad no se debe restringir a solamente estas especies de hospederos conocidas ya que, para cualquiera de estas dos especies de insectos, se sabe que la probabilidad de infección en plantas es mayor mientras exista una mayor proximidad filogenética entre especies cuya vulnerabilidad ya ha sido confirmada (Gilbert *et al.*, 2012). Por ello debe enfatizarse llevar a cabo la revisión de individuos de especies de árboles y plantas en puertos de ingreso de mercancía con potencial de estar infectada, así como en zonas de mayor vulnerabilidad (e.g., zonas de alta idoneidad para su establecimiento) que sean parientes cercanos de las especies que ya han sido afectadas por estas plagas. Para ello las listas de hospederos conocidos en todo el mundo (véanse tablas 4.2.1 y 4.2.2), son un recurso importante para el análisis de riesgo en México. Deben priorizarse por tanto especies o géneros cercanos filogenéticamente (o inclusive taxonómicamente) para ubicar especies que por esta característica puedan ser más vulnerables.

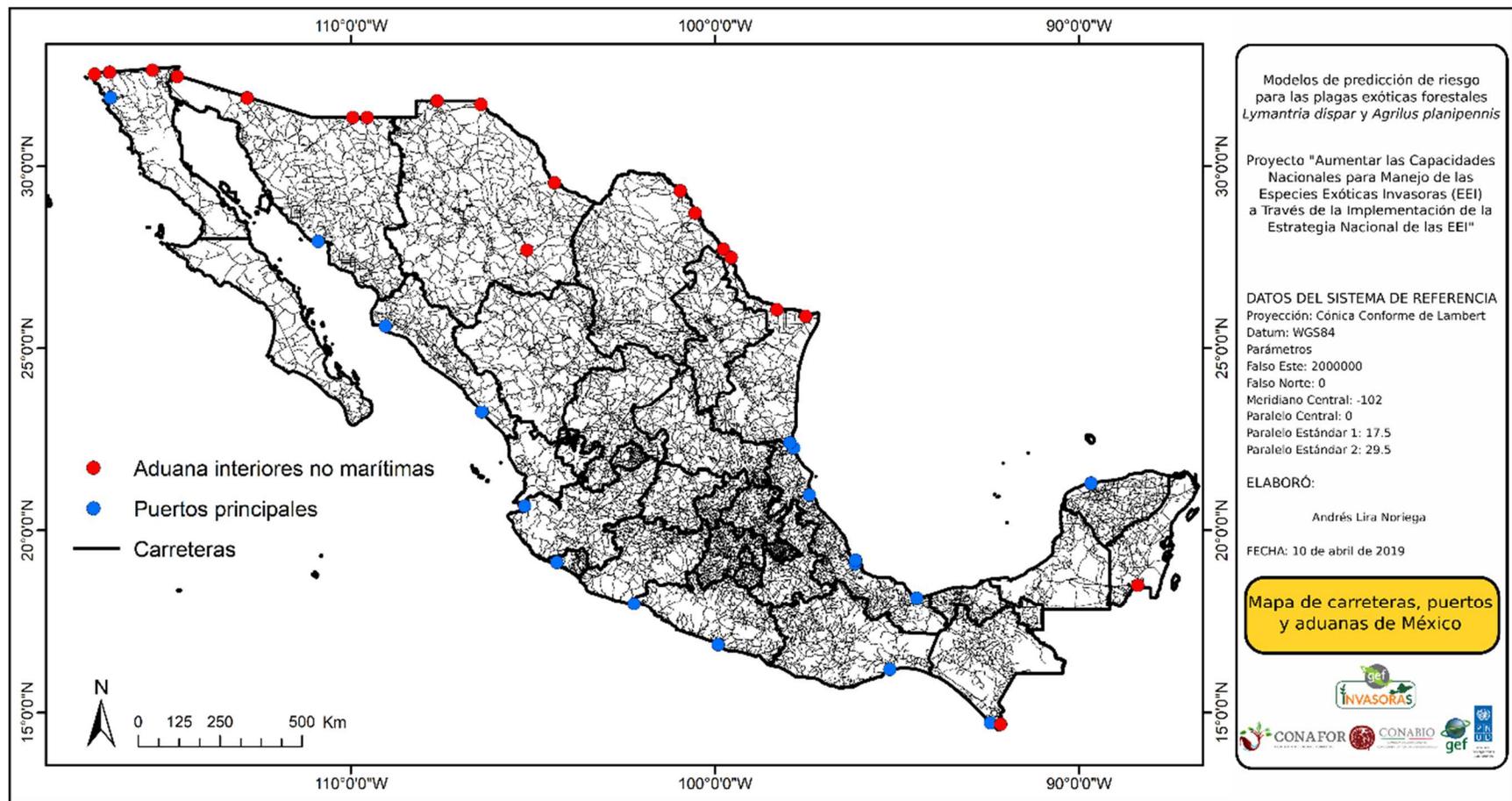


Figura 4.3.1. Ubicación de los principales puertos, aduanas interiores no marítimas y carreteras de México. Fuente: elaboración propia del consultor.

4.4 Recomendaciones

México ofrece territorio idóneo para el establecimiento de ambas especies, las cuales han demostrado una alta capacidad invasora y de afectación en ecosistemas forestales en sus rangos no nativos. De acuerdo con los mapas de riesgo, *Lymantria dispar* tiene mayor idoneidad en el oeste de Baja California, la Sierra Madre Occidental y norte de la Sierra Madre Oriental, algunas partes del centro de México hasta el centro de Veracruz, serranías de Oaxaca, Chiapas y el centro este de la Península de Yucatán. En cuanto a *Agrilus planipennis*, los sitios de mayor idoneidad se encuentran hacia el sur del país, aunque con valores relativamente altos en la porción sur de la Sierra Madre Occidental y parte norte de la Sierra Madre Oriental, el norte de Querétaro, norte de Hidalgo, centro de Veracruz, todo Oaxaca sobre todo al norte del estado, y las serranías que corren por los límites sur de Veracruz, Tabasco y toda la porción norte de Chiapas, así como la periferia norte y la parte central de la Península de Yucatán.

Por proximidad geográfica y flujo comercial, debe enfatizarse mayor vigilancia en los ecosistemas forestales al norte del país, así como en los sitios donde se tengan ubicados el flujo de materia comercial, como árboles navideños, en México. A pesar de que hay algunas especies de árboles que se consideran más vulnerables, la lista de hospederos potenciales incluye a muchas especies tanto de índole forestal como agrícola, por lo que acciones conjuntas de monitoreo interinstitucional CONAFOR comprenderían una estrategia más robusta para enfrentar vigilancia y posibles acciones en campo.

5 Referencias

- Alkemade, R., van Oorschot, M., Miles, L., Nellemann, C., Bakkenes, M. & ten Brink, B.** 2009. GLOBI03: A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. *Ecosystems* 12: 374-390.
- Barve, N., Barve, V., Jimenez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Peterson, A. T., Soberon, J. & Villalobos, F.** 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*. 222: 1810-1819.
- Bhardwaj, S. P.** 1987. Investigations on the response of lepidopteran sex pheromones of temperate fruit pests in Himachal Pradesh, India. *Agric. Ecosyst. Environ.* 19: 87-91.
- CABI.** 2018a. *Agrilus planipennis*. In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc.
- CABI.** 2018b. *Lymantria dispar*. In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc.
- Cappaert, D., McCullough, D. G., Poland, T. M. & Siegert, N. W.** 2005. Emerald ash borer in North America: A research and regulatory challenge. *American Entomologist* 51: 152-165. <https://doi.org/10.1093/ae/51.3.152>

- CIE (Commonwealth Institute of Entomology)**. 1981. Distribution maps of pests, Series A, Map No. 26 (Revised). *Lymantria dispar* (L.). CAB International, Wallerford, United Kingdom.
- Clobert, J., Baguette, M., Benton, T. G. & Bullock, J. M. (eds.)** 2012. Dispersal ecology and evolution. Oxford University Press,
- Cobos, M. E., Peterson, A. T., Barve, N. & Osorio-Olvera, L.** 2019. kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7, e6281.
- Crowther, T. W., Glick, h. B., Covey, K. R., Bettigole, Ch., Maynard, D. S., Thomas, St. M. et al.** 2015. Mapping tree density at a global scale. *Nature*, 525, 201.
- Elkinton, J. S. & Liebhold, A. M.** 1990. Population dynamics of Gypsy Moth in North America. *Annual Review of Entomology* 35: 571–596. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.003035>
- EPPO.** 2005. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Data sheets on quarantine pests. *Agilus planipennis*. *Bulletin OEPP/EPPO* 35: 436-438.
- Fabel, S.** 2000. Effects of *Lymantria dispar*, the Gypsy Moth, on broadleaved forests in eastern North America. *Restoration and Reclamation Review* 6(6): 1–15
- Gilbert, G. S., Magarey R., Suiter K. & Webb, C. O.** 2012. Evolutionary tools for phytosanitary risk analysis: phylogenetic signal as a predictor of host range of plant pests and pathogens. *Evolutionary Applications* 5(8): 869–878. doi: 10.1111/j.1752-4571.2012.00265.x
- Gupta, S. L.** 1992. Check-list of Indian Lymantriidae (Noctuoidea: Lepidoptera). *Bulletin Entomology* 33(1-2): 94–116.
- 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): 1965-1978.
- Kean, J. M., Suckling, D. M., Sullivan, N. J., Tobin, P. C., Stringer, L. D., Lee, D. C., Smith, G. R., Flores Vargas, R., Fletcher, J., Macbeth, F., McCullough, D. G. & Herms, D. A.** 2015. Global eradication and response database. New Zealand: Better Border Biosecurity. <http://b3.net.nz/gerda>
- Liebhold, A. M., Gottschalk, K. W., Muzikam, R.-M., Montgomery, M. E., Young, R., O'Day, K. & Kelley, B.** 1995. Suitability of North American Tree Species to the Gypsy Moth: A Summary of Field and Laboratory Tests.
- Liebhold, A. M., Halverson, J. & Elmes, G.** 1992. Gypsy moth invasion in North America: a quantitative analysis. *Journal of Biogeography*. 19: 513-520.
- Liebhold A. M. & Tobin P. C.** 2006. Growth of newly established alien populations: comparison of North American gypsy moth colonies with invasion theory. Population Ecology [Papers from the first session of the 22nd Symposium of the Society of Population Ecology, Ishikawa, Japan, 28-30 October 2005.], 48(4):253-262. <http://springerlink.metapress.com/link.asp?id=103139>
- Limbu, S., Keena, M., Chen, F., Cook, G., Nadel, H. & Hoover, K.** 2017. Effects of temperature on development of *Lymantria dispar asiatica* and *Lymantria dispar japonica* (lepidoptera: Erebidae). *Environmental Entomology* 46: 1012–1023. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx111>

- Lira-Noriega, A., Soberón, J. & Equihua, J.** 2018. Potential invasion of exotic ambrosia beetles *Xyleborus glabratus* and *Euwallacea* sp. in Mexico: A major threat for native and cultivated forest ecosystems. *Scientific Reports*. 8, 10179.
- Lyons, D. B. & Jones, G. C.** 2005. The biology and phenology of the emerald ash borer. 16th U.S. Department of Agriculture interagency research forum on gypsy moth and other invasive species 2005.
- McFadden, M. W. & Mcmanus, M. L.** 1991. An Insect out of control? The potential for spread and establishment of the gypsy moth in new forest areas in the United States, pp. 172–186. In Baranchikov, Y.N., Mattson, W.J., Hain, F.P., Payne, T.L. (eds.), For. Insect Guilds Patterns Interact with Host Trees. USDA Forest Service General Technical Report NE-153.
- McManus, M. & Csóka, Gy.** 2007. History and impact of gypsy moth in North America and comparison to the recent outbreaks in Europe. *Acta Silv. Lign. Hung.* 3: 47-64.
- McManus, M., Schneeberger, N., Reardon, R. & Mason, G.** 1/6/99. Gypsy moth. Forest Insect & Disease Leaflet 162: 1–14.
- Montgomery, M.E. & Wallner, W.E.** 1989. The gypsy moth: a westward migrant. pp. 353–373. In A. A. Berryman [Ed.] Dynamics of forest insect populations, patterns, causes, implications. Plenum, New York
- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M. & Anderson, R. P.** 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*. 5: 1198–1205.
- Naimi, B., Hamm, N. A. S., Groen, T. A., Skidmore, A. K. & Toxopeus, A. G.** 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography* 37 (2): 191–203.
- Norma Oficial Mexicana NOM-013-SEMARNAT-2010**, Que regula sanitariamente la importación de árboles de navidad naturales de las especies de los géneros *Pinus* y *Abies* y la especie *Pseudotsuga menziesii*. (http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5166515&fecha=06/11/2010)
- Olson, D. M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, G. V. N. Powell, E. C. Underwood, J. A. D'Amico, I. Itoua, H. E. Strand, J. C. Morrison, et al.** 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51: 933–938.
- Owens, H. L., Campbell, L. P., Dornak, L. L., Saupe, E. E., Barve, N., Soberon, J., Ingenloff, K., Lira-Noriega, A., Hensz, C. M., Myers, C. E. & Peterson, A. T.** 2013. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecological Modelling*. 263: 10–18.
- Peterson, A. T., Papeş, M. & Soberón, J.** 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*. 213(1): 63–72.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E.** 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231–259.
- 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. 99 pp. + 3 Anexos.

- Pogue, M. G. & Schaefer, P. W.** 2007. A review of selected species of *Lymantria* Hübner [1819] including three new species (Lepidoptera: Noctuidae: Lymantriinae). U.S. Department of Agriculture, Forest Health Technology Enterprise Team, FHTET-2006-07, Morgantown, WV
- Prasad, A. M., Iverson, L. R., Peters, M. P., Bossenbroek, J. M., Matthews, S. N., Sydnor, T. D. & Schwartz, M. W.** 2010. Modeling the invasive emerald ash borer risk of spread using a spatially explicit cellular model. *Landscape Ecology* 25: 353–369. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9434-9>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).** 2016. Plan de Acción para Vigilancia y Aplicación de Medidas de Control Contra la Palomilla Gitana *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidae) en México.
- Siegert, N. W., Mercader, R. J. & McCullough, D. G.** 2015. Spread and dispersal of emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae): Estimating the spatial dynamics of a difficult-to-detect invasive forest pest. *Canadian Entomologist* 147: 338–348. <https://doi.org/10.4039/tce.2015.11>
- Taylor, R. A. J., Bauer, L. S., Poland, T. M. & Windell, K. N.,** 2010. Flight performance of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) on a flight mill and in free flight. *Journal of Insect Behavior* 23, 128–148. <https://doi.org/10.1007/s10905-010-9202-3>
- Tobin, P. C. & Blackburn Laura, M.** 2007. Slow the Spread: a national program to manage the gypsy moth. Gen. Tech. Rep. NRS-6. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 109 p.
- Tuanmu, M.-N. & Jetz, W.** 2014. A global 1-km consensus land-cover product for biodiversity and ecosystem modeling. *Global Ecology and Biogeography* 23(9): 1031–1045.
- Vega, G., Pertierra, L. R. & Olalla-Tárraga, M. Á.** 2017. MERRAclim, a high-resolution global dataset of remotely sensed bioclimatic variables for ecological modelling. *Scientific Data*. 4: 17007.