



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.159>

Artículo

Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México

Librado Sosa Díaz¹, Jorge Méndez González^{1*}, Mario Alberto García Aranda², Víctor Hugo Cambrón Sandoval³, José Ángel Villarreal Quintanilla⁴, Cecilia Guadalupe Ruiz González¹, Juan Carlos Montoya Jiménez¹

¹Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

²Especies, Sociedad y Hábitat, A.C. México.

³Laboratorio de Ecología. Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Juriquilla. México.

⁴Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: jmendezg@hotmail.com

Resumen:

La distribución de plagas forestales en México es incierta, pues existe información escasa sobre áreas potenciales de bosques por ser afectados mediante algún tipo de plaga, o información sobre sus preferencias climáticas y ecológicas. El objetivo del presente estudio consistió en modelar la distribución potencial de insectos barrenadores (*B*), defoliadores (*d*), descortezadores (*D*) y muérdagos (*M*) mediante variables climáticas y dasométricas a través de MaxEnt (Máxima Entropía). Los registros de plagas forestales se obtuvieron durante el desarrollo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (2009-2014) y fueron proporcionados por la Comisión Nacional Forestal. Los modelos se probaron y validaron con el paquete *dismo* de R. Los generados mostraron ajustes aceptables ($AUC > 0.85$). La superficie potencial estimada por modelo, acorde al umbral mínimo de presencia conocida (> 0.1), fue alrededor de 270 (*B*), 307 (*D*), 315 (*d*) y 308 mil km² (*M*). La mayor área potencial para los cuatro tipos de plaga se predijo en Chihuahua, Durango y Oaxaca, así como la probabilidad de ocurrencia más alta (> 0.90). Las variables climáticas contribuyeron con el mayor porcentaje para *D* y *d* (75.1 y 71.9 %); mientras que, para *B* y *M*, las dasométricas (73.6 y 59.8 %). El análisis de parámetros dasométricos indica que los cuatro tipos de plaga tienen preferencia por bosques con árboles de diámetros pequeños y sitios con pocas especies hospederas. Los bosques con mayor susceptibilidad se ubican en Chihuahua (*M*) y Michoacán, Estado de México, Nuevo León, Jalisco y Chihuahua (*D*).

Palabras clave: MaxEnt, probabilidad de ocurrencia, temperatura, precipitación, tipo de plaga, variables dasométricas.

Fecha de recepción/Reception date: 13 de diciembre de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 19 de marzo de 2018.

Introducción

De la gran diversidad de tipos de vegetación que existe en México, los bosques templados ocupan 12 % del territorio nacional (Semarnat, 2009) cuya importancia radica, en términos económicos, en los bienes y servicios que suministran (Díaz, 1988).

Los bosques mexicanos se enfrentan a incendios, tala excesiva (Salinas *et al.*, 2010), plagas y enfermedades. Sobresalen los barrenadores de conos y semillas (Cibrián *et al.*, 1998), los defoliadores (Castro, 1981), como los géneros *Neodiprion* y *Zadiprion* (González *et al.*, 2014); los muérdagos, que han causado pérdidas anuales por más de dos millones de metros cúbicos de madera (Vázquez *et al.*, 2006) y los descortezadores, principalmente del género *Dendroctonus*, del cual existen 13 especies (Armendáriz y Zúñiga, 2017); por su agresividad destacan *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, *Dendroctonus adjunctus* Blandford y *Dendroctonus rhizophagus* Thomas & Bright, que son fundamentales en la dinámica y renovación natural de los bosques (Salinas *et al.*, 2010).

De 1990 a 2014 se registraron en México 69 mil ha afectadas por barrenadores; 23 mil ha por defoliadores; 383 mil ha por muérdagos y 474 mil ha por descortezadores, de las cuales solo 60 %, en promedio, recibió alguna práctica de control o manejo (Semarnat, 2015); lo que puede explicarse por la incertidumbre sobre el potencial de los bosques afectados por tales agentes.

En ese contexto, los modelos de distribución potencial de especies en conjunto con los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta que ayuda a sintetizar y entender la relación entre los taxa y las variables ambientales (Pliscoff y Fuentes, 2011). El *software* MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006) ha sido utilizado para este fin en las últimas décadas y busca determinar la máxima entropía en la que todos los sitios tienen la misma probabilidad de ocurrir (Palma y Delgadillo, 2014).

La modelación de distribución de especies se ha realizado a menudo con variables climáticas (Contreras *et al.*, 2010; Salinas *et al.*, 2010; Palma y Delgadillo, 2014); sin embargo, para plagas forestales, la dasometría también debe ser considerada, puesto que en ocasiones la presencia de una plaga no es únicamente dependiente del clima, sino también de la estructura de los rodales (Raffa *et al.*, 2008; Cuellar *et al.*, 2013).

Con la intensificación del cambio climático, se prevé que los insectos descortezadores tengan condiciones favorables para su fisiología (Raffa *et al.*, 2008) y por ende en su desplazamiento; por lo tanto, es necesario generar información para conocer su distribución potencial y su relación con variables climáticas, además de sus preferencias en el bosque.

Con base en todo lo anterior, se planteó el objetivo de modelar la distribución potencial de barrenadores de conos y semillas, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas en México, mediante el uso de variables bioclimáticas, dasométricas y el algoritmo MaxEnt.

Dado que, generalmente, las brigadas de campo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos no están capacitadas para la identificación correcta de las plagas forestales, y ante la escasez de estudios a nivel especie que pudiesen aportar información sobre la distribución nacional de esos agentes, en este trabajo se ha modelado a nivel de tipo de plaga. Con ello se amplía el área de oportunidad para realizar estudios posteriores y más específicos. Así, se espera contribuir a la detección temprana de estos organismos y evitar su proliferación, la cual es información básica para la planificación, monitoreo, manejo y conservación de los bosques del país.



Materiales y Métodos

El área de estudio

Como ámbitos de estudio, se seleccionaron el bosque de pino, el bosque de pino-encino y el bosque de oyamel (INEGI, 2013) con un *buffer* de 1 km, que se ubican principalmente, en la Sierra Madre Occidental y en la Sierra Madre Oriental, entre otros relieves montañosos. En estos tipos de vegetación, el clima es templado subhúmedo con temperaturas promedio de 10 a 22 °C; la precipitación varía de 600 a 1 000 mm anuales (Conagua, 2012). El intervalo altitudinal parte de los 400 a 4 000 m.

Registros de plagas forestales

Los datos de plagas forestales fueron proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2009-2014, INFyS). A dichos datos se les depuró para verificar que estuvieran ubicados dentro del polígono de área de estudio, que corresponde a todos los bosques de coníferas del país; lo cual se realizó mediante el programa *QGIS* (QGIS, 2016) y se eliminaron aquéllos que no cumplieron con esa condición. Se obtuvieron 4 004 registros únicos (coordenadas geográficas) de cuatro tipos de plaga: 316, 546, 1 527 y 1 615, para barrenadores (B), defoliadores (d), descortezadores (D) y muérdagos (M), respectivamente; en la información del INFyS no se precisan las especies de plagas observadas en campo, por lo que se optó por organizar los registros de presencia en los cuatro grupos mencionados anteriormente. Se asume, además, que la agrupación de los muérdagos se refiere a los enanos, puesto que la información de referencia se reduce solo a observaciones de dichos organismos.

Variables y modelos de distribución

Se utilizaron las variables bioclimáticas propuestas por Hijmans *et al.* (2005) que son variantes de la precipitación y temperatura, y tienen una resolución aproximada de 1 km² (<http://www.worldclim.org>). Adicionalmente, se generaron variables dasométricas (Aba: área basal ha⁻¹; Arb: número de árboles ha⁻¹; Dnp: diámetro normal promedio ha⁻¹; Nsp: número de especies), con datos del INFyS, mismos que se tabularon y se extrapolaron a hectárea para su posterior interpolación al área de estudio, mediante el método de Interpolación de Distancia Inversa (IDW), porque se ajustó mejor a los datos reales.

De las variables bioclimáticas y dasométricas se eliminaron aquéllas con correlación mayor a 0.6 (Contreras *et al.*, 2010), para lo que se usó la función *corselect* del paquete *fuzzySim* (Barbosa, 2015) del programa R (R Core Team, 2017), con el fin de minimizar la colinealidad en los modelos resultantes (Contreras *et al.*, 2010). Las variables bioclimáticas seleccionadas para la modelación fueron: temperatura promedio anual (°C), B01; isothermalidad de la temperatura, B03; estacionalidad de la temperatura, B04; temperatura mínima promedio del periodo más frío (° C), B06; temperatura promedio del cuarto anual más húmedo (°C), B08; temperatura promedio del cuarto anual más cálido (° C), B10; precipitación anual (mm), B12; precipitación del periodo más seco (mm), B14; estacionalidad de la precipitación (mm), B15; precipitación del cuarto anual más cálido (mm), B18; precipitación del cuarto anual más frío (mm), B19.

Los registros y las variables seleccionadas de cada tipo de plaga se utilizaron para generar modelos de distribución potencial en el programa R (R Core Team, 2017) con ayuda de *MaxEnt* versión 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2006) y el paquete *dismo* (Hijmans *et al.*, 2016) de R (R Core Team, 2017). Para generar los modelos de distribución se dividieron los datos de presencia por tipo de plaga en cinco grupos aleatorios (*k-fold*), con los que se hace el mismo *k* número de iteraciones, en cada una de las cuales se toma un grupo definido para verificación y el resto de ellos

como entrenamiento del modelo; el proceso se repite de acuerdo al número de *k-folds* (Hijmans *et al.*, 2016).

El estadístico AUC (Área Bajo la Curva, por sus siglas en inglés) se usó para conocer la precisión de los modelos (Elith, 2000) en la predicción de la distribución potencial de los tipos de plaga. Los modelos de distribución se proyectaron al espacio geográfico y se definió la probabilidad de presencia por arriba del umbral mínimo de presencia conocida sugerido por Pearson *et al.* (2007).

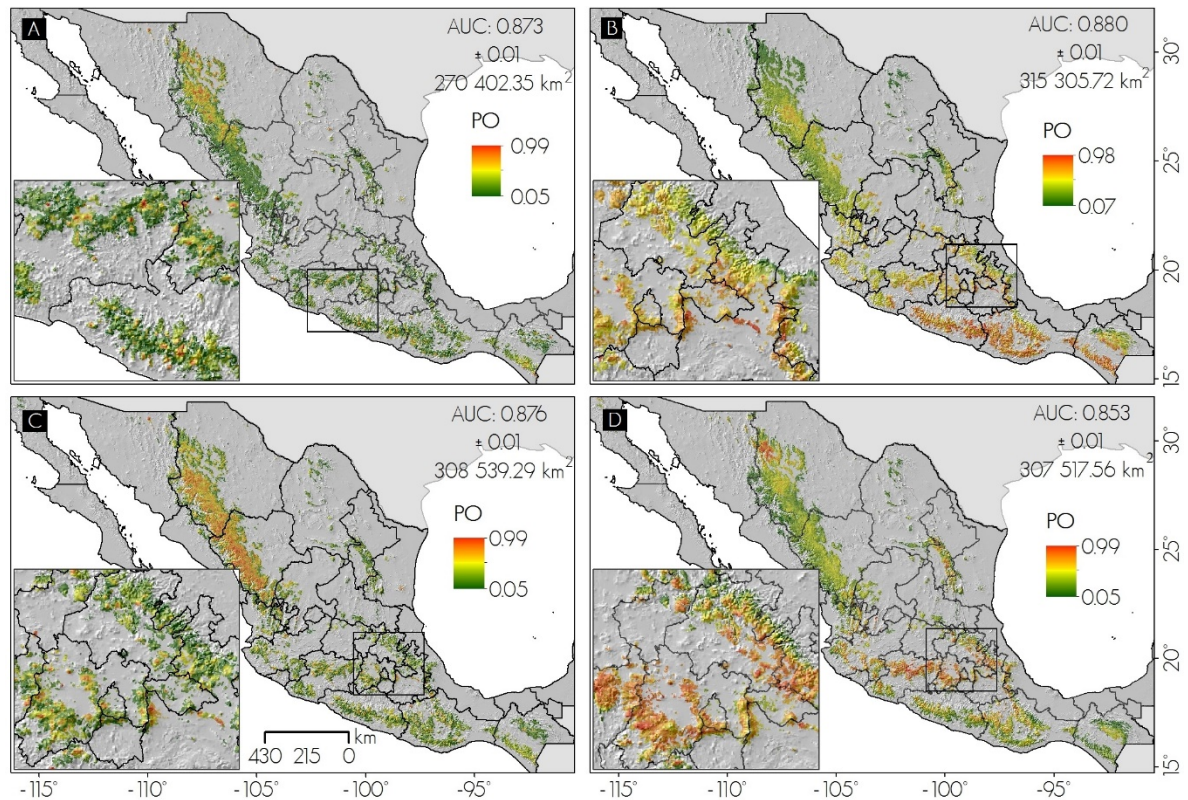
Perfil bioclimático de plagas forestales

Con *MaxEnt* se realizó una prueba de *Jackknife* que ayudó a identificar las variables más importantes en la prueba de los modelos de distribución potencial; de estas variables se extrajeron los valores máximos y mínimos correspondientes a los registros de presencia para generar el perfil bioclimático de cada tipo de plaga.

Resultados y Discusión

Ajuste de modelos de distribución potencial

Los modelos generados se consideran adecuados para predecir la distribución de plagas forestales, por sus valores de AUC mayores a 0.85, que de acuerdo con Elith (2000), cuando estos son superiores a 0.75 son útiles para predecir la distribución potencial. El AUC más alto fue para defoliadores y el menor para descortezadores, mientras que el umbral mínimo de presencia conocida (Pearson *et al.*, 2007) fue de 0.05 en promedio para los tipos de plaga estudiados (Figura 1).



PO = Probabilidad de ocurrencia; AUC = Área Bajo la Curva

A = Barrenadores; B = Defoliadores; C = Muérdagos; D = Descortezadores

Figura 1. Distribución potencial de las plagas que afectan los bosques de coníferas de México.

En cuanto al ajuste, el valor de AUC (0.97) calculado por Mendoza *et al.* (2011) para la distribución de *Dendroctonus rhizophagus* en la Sierra Madre Occidental es superior al de esta investigación (0.85), lo que se debe, principalmente, a la especificidad de ambos estudios; en la presente investigación se trabajó a nivel género, mientras que otras lo hacen con especies, y en la medida en que esté localizada, la predicción de los modelos es mejor (Allouche *et al.*, 2006). Asimismo, Salinas *et al.* (2010) predijeron la distribución de 11 especies de descortezadores en México, con apoyo en el algoritmo *BIOCLIM*; sin embargo, no muestran el ajuste de dichas predicciones que permita formular una discusión sobre el correspondiente al modelo aquí presentado para descortezadores, aunque no se documenta información acerca de una especie de descortezador en particular.

Distribución potencial de plagas forestales

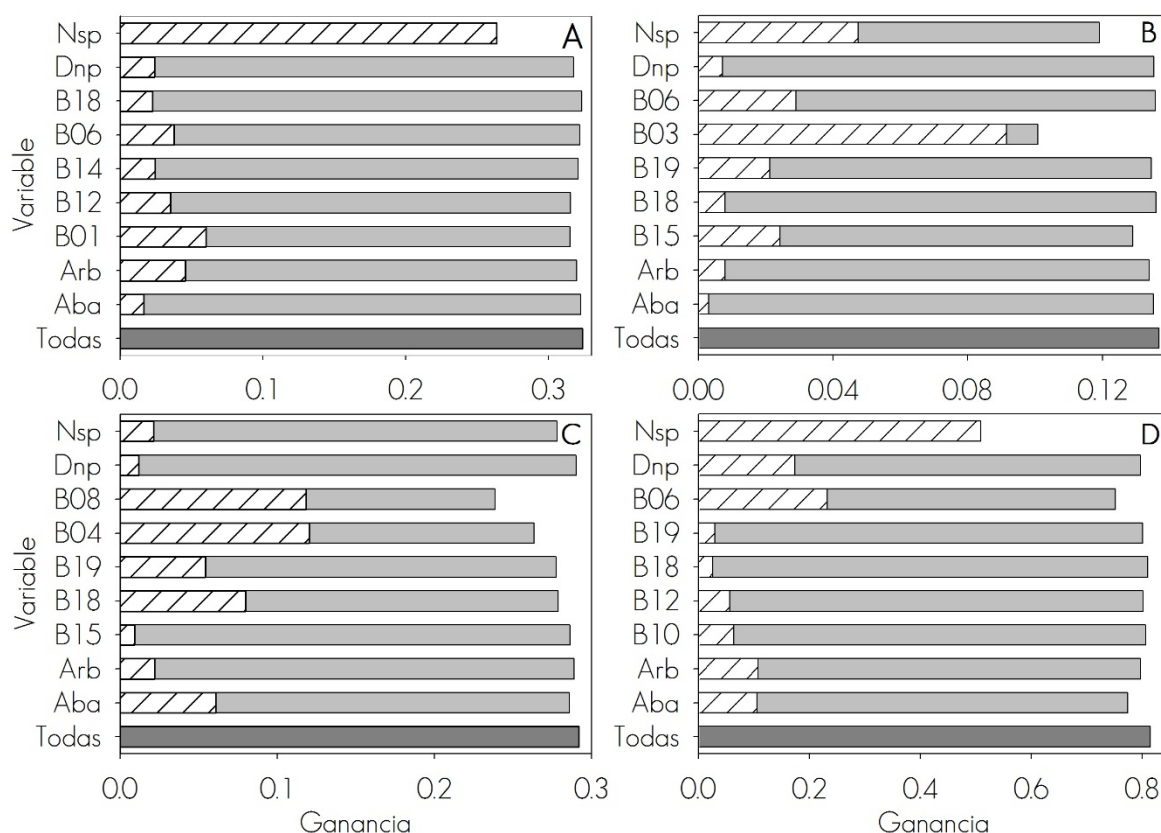
Barrenadores. Los estados del país con mayor superficie de distribución potencial para barrenadores (probabilidad ≥ 0.85) fueron Chihuahua (23 %), Durango (16.9 %) y Oaxaca (10.2 %) de 270 402.35 km² (Figura 1), mientras que en la sierra de San Pedro Mártir (Baja California), donde Díaz (1988) ha descrito barrenadores del género *Cydia* sobre *Pinus jeffreyi* Balf. y *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson, el modelo predice probabilidad de presencia de hasta 0.88. Galindo *et al.* (2011) hicieron el primer registro de la presencia del género *Megastimus*, causante de importantes daños a semillas de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. y *A. hickeli* Flous & Gaussen en el Cofre de Perote (Veracruz), donde se predice la probabilidad de presencia de 0.51. Lo anterior sugiere que en los sitios señalados por el modelo podrían existir barrenadores, y el hecho de que no hayan sido consignados o descritos solo indica la deficiencia en los estudios de campo. Se observan, también, en el Eje Neovolcánico algunas zonas de distribución discontinua, al igual que en Chiapas, Coahuila y Nuevo León (Figura 1A).

Defoliadores. *MaxEnt* estimó que en México existen 315 305.72 km² (Figura 1B) que reúnen condiciones climáticas y dasométricas favorables para su presencia. La mayor probabilidad ocurre en los bosques del centro y sur del país (Figura 1B); con la superficie más grande en Chihuahua (66 367.47 km²), estado en el que Castro (1981) registró defoliadores del género *Neodiprion* en bosques de *Pinus arizonica* Engelm. en el municipio Bocoyna, Chihuahua; sitio en el cual, el modelo predijo probabilidades altas (> 0.90 , Figura 1B). Otras entidades con amplia zona favorable para el desarrollo de defoliadores son Durango (51 655.29 km²), Oaxaca (32 351.08 km²), así como Chiapas, Guerrero y Michoacán con cerca de 19 801.3 km², en promedio, para cada uno (Figura 1B).

Descortezadores. López *et al.* (2015) los identificaron en bosques de *Abies religiosa* en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca; al igual que Rodríguez *et al.* (2013), quienes citan a *Dendroctonus adjunctus* en el ejido Los Pescados, Veracruz, localidades en las que el modelo pronosticó 0.68 de probabilidad de ocurrencia, en promedio, para ambas; aunque en áreas aledañas a la última predijo hasta 0.99. Chihuahua y Durango son los estados con el área potencial más amplia para descortezadores del género *Dendroctonus* (20.96 y 16.56 % del total nacional), principalmente, por tratarse de los estados con la mayor extensión de bosques, y que poseen la diversidad más alta de especies de *Dendroctonus* (Salinas *et al.*, 2010). Sin embargo, en el Eje Volcánico Transmexicano el problema se incrementa (Figura 1D), lo que podría deberse a que en ese sistema montañoso se concentra un elevado porcentaje de *Pinus* colonizados por descortezadores (Salinas *et al.*, 2010).

Muérdagos. El mayor número de registros se observó en Durango y Chihuahua (601 y 452), donde se verifica la extensión más grande de su distribución potencial (65 986.49 y 51 617.97 km²); en contraste, Aguascalientes y Baja California Sur albergan el área potencial más baja, con 27.7 y 161.01 km² (Figura 2C), debido principalmente a lo limitado que son los bosques de coníferas en esas entidades. Se predijeron 308 539.29 km² con características para la proliferación de alguna especie de muérdago. Estos organismos han sido consignados por Ramírez y Porcayo (2010) en el Parque Nacional Nevado de Toluca sobre *Pinus hartwegii* Lindl. y *P. montezumae* Lamb., en cuya zona se calculan probabilidades máximas de 0.60 (Figura 1C).

En general, el área potencial para cada tipo de plaga fue superior a 270 mil km², la menor de las cuales corresponde a los barrenadores y lo contrario para defoliadores (Figura 1). Durango reúne la superficie boscosa más extensa bajo condiciones óptimas para defoliadores, descortezadores y muérdagos, seguido por Chihuahua, mientras que para otros estados como Nuevo León, Coahuila y Nayarit la mayor susceptibilidad se verifica para descortezadores, y para barrenadores en los bosques de la Ciudad de México (Figura 2).



B01= Temperatura promedio anual ($^{\circ}\text{C}$); B03 = Isotermalidad de la temperatura;
 B04= Estacionalidad de la temperatura; B06 = Temperatura mínima promedio del
 periodo más frío ($^{\circ}\text{C}$); B08 = Temperatura promedio del cuarto anual más
 húmedo ($^{\circ}\text{C}$); B10 = Temperatura promedio del cuarto anual más cálido ($^{\circ}\text{C}$);
 B12 = Precipitación anual (mm); B14 = Precipitación del periodo más seco
 (mm); B15 = Estacionalidad de la precipitación (mm); B18 = Precipitación del
 cuarto anual más cálido (mm); B19 = Precipitación del cuarto anual más frío
 (mm); Aba = Área basal ha^{-1} ; Arb = Número de árboles ha^{-1} ; Dnp = Diámetro
 normal promedio ha^{-1} ; Nsp = Número de especies.

A = Barrenadores; B = Defoliadores; C = Descortezadores; D = Muérdagos

Figura 2. Importancia de las variables (Prueba de *Jackknife*) en modelos de distribución potencial de las plagas que afectan los bosques de coníferas de México.

Ante el alto riesgo de que sus bosques sean atacados, en Oaxaca, Guerrero y Chiapas (para defoliadores); el Estado de México, Michoacán y Nuevo León (para descortezadores); Chihuahua y Durango (para muérdagos y barrenadores) se debería centrar la atención y el diseño de sistemas de monitoreo para la detección oportuna de brotes de alguna plaga (Figura 1).

Variables ambientales de importancia

Las variables ambientales que no presentaron correlación superior a 0.6 fueron cinco bioclimáticas (variables para cada TP) y cuatro dasométricas (Figura 3). De acuerdo con los resultados de la prueba de *Jackknife*, las que disminuyen la ganancia del modelo cuando se excluyen (barra gris claro de la Figura 2) son igual de importantes que las que aportan la mayor ganancia, cuando se modelan individualmente (barra blanca de la Figura 2); en ese sentido, el parámetro más relevante en la predicción de la distribución de barrenadores, defoliadores y muérdagos fue el número de especies (N_{sp}), mientras que para descortezadores, el área basal (A_{ba}) (Figura 2D).

De las variables climáticas, la isothermalidad (B03) fue más relevante para los defoliadores, la temperatura promedio anual (B01) para barrenadores y para muérdagos la temperatura mínima promedio del periodo más frío (B06) del año (Figura 2). En general, las que se asocian con la temperatura son las más significativas para los cuatro tipos de plaga (Figura 2), lo que quizás se deba a que condiciona fenómenos como la evapotranspiración o la severidad de las sequías, que mantienen al árbol en estrés y lo hacen vulnerable al ataque de los insectos (Raffa *et al.*, 2008; Del Val y Sáenz, 2017).

Específicamente para descortezadores, las temperaturas bajas (B08: temperatura promedio del cuarto anual más húmedo del año (Figura 2) suponen un elemento importante en su distribución, al igual que otros efectos directos sobre los insectos, al propiciar la mortalidad de adultos y larvas, así como la alteración del tiempo requerido para completar una generación

(Raffa *et al.*, 2008); lo anterior repercute en su dinámica poblacional (Bentz *et al.*, 2010). Sin embargo, por el cambio climático y el aumento de la temperatura, la relación limitante hacia los insectos podría decrecer paulatinamente y ocasionar una explosión poblacional (Hernández *et al.*, 2017).

En general, el panorama para los bosques templados de México es poco alentador en el contexto de plagas. Por una parte, los insectos descortezadores son positivamente influenciados por las temperaturas ascendentes (Del Val y Sáenz, 2017), lo que da lugar a un incremento en el número de generaciones por año (Bentz *et al.*, 2010); con ello, se multiplican sus posibilidades de adaptarse a las nuevas condiciones ambientales. Los árboles, por el contrario, no tienen la misma capacidad para ajustarse a los cambios que supone la presencia masiva de insectos, ni a los de su entorno.

Perfil ecológico-climático de plagas forestales

El porcentaje de contribución de las variables climáticas y dasométricas en los modelos de distribución no fue constante para los cuatro tipos de plaga. Para barrenadores y muérdagos, las variables dasométricas aportaron al modelo más de 50 %, mientras que las climáticas contribuyeron arriba de 70 % a la construcción de los modelos para descortezadores y defoliadores. De acuerdo con la prueba de *Jackknife*, las variables más importantes (Figura 3) fueron también las que tuvieron mayor porcentaje de contribución en la construcción de los modelos (Cuadro 1).

Gan (2004) indica que el riesgo de infestación de *Dendroctonus frontalis* aumenta cuando las temperaturas oscilan de 8.79 a 14.87 °C; en la presente investigación el intervalo de temperatura promedio es más amplio para descortezadores (Cuadro 1); esto se debe, principalmente, a que los bosques mexicanos están a menor latitud que la región mencionada por el autor, y a que no se trabajó a nivel de especie.

Mendoza *et al.* (2011) aseveran que la temperatura media contribuyó con 30.1 % y la precipitación con 10.5 % en la distribución de *Dendroctonus rizophagus* en la

Sierra Madre Occidental; en este trabajo se tiene el mismo comportamiento (54.9 % para temperaturas y 20.26 % para precipitación (Cuadro 1), lo que indica que la distribución de descortezadores se rige, en gran medida, por la temperatura (Figura 3D). Sin embargo, no solo la distribución de los insectos es afectada por la temperatura, sino también su explosión demográfica (Raffa *et al.*, 2008), mortalidad (Bentz *et al.*, 2010) y fisiología (Hernández *et al.*, 2017).

Cuellar *et al.* (2012) señalan que, en el noreste de México, la precipitación y la temperatura (media y máxima) mensual no determinan la abundancia de *Dendroctonus mexicanus*, lo que a su vez demostraría que en algunas regiones, la distribución y abundancia de descortezadores no están condicionadas a cambios mensuales en el clima, pero sí a variaciones estacionales o incluso anuales (Mendoza *et al.*, 2011).

En México, Queijeiro y Cano (2015) observaron que la incidencia de muérdagos (*Arceuthobium vaginatum* Humb. & Bonpl. ex Willd. J. Presl. y *Arceuthobium globosum* Hawksw. & Wiens) está más ligada a procesos estocásticos como incendios o tala de árboles; sin embargo, la información que aquí se documenta no se manejó a nivel especie, ni se incluyeron variables que representen algún tipo de disturbio. El análisis indica que la temperatura mínima promedio del periodo más frío (B06) del año fue una de las más importantes en el modelo (Figura 2D, Cuadro 1), lo que se confirma con los resultados de Brandt *et al.* (2005) quienes mencionan que las temperaturas bajas reducen 95 % la capacidad de dispersión de la semilla de muérdago enano (*Arceuthobium americanum* Nutt. ex Engelm.).



Cuadro 1. Perfil ecológico con mínimos, máximos y porcentajes de contribución de variables bioclimáticas y dasométricas usadas en modelos de distribución de cuatro tipos de plagas forestales en México.

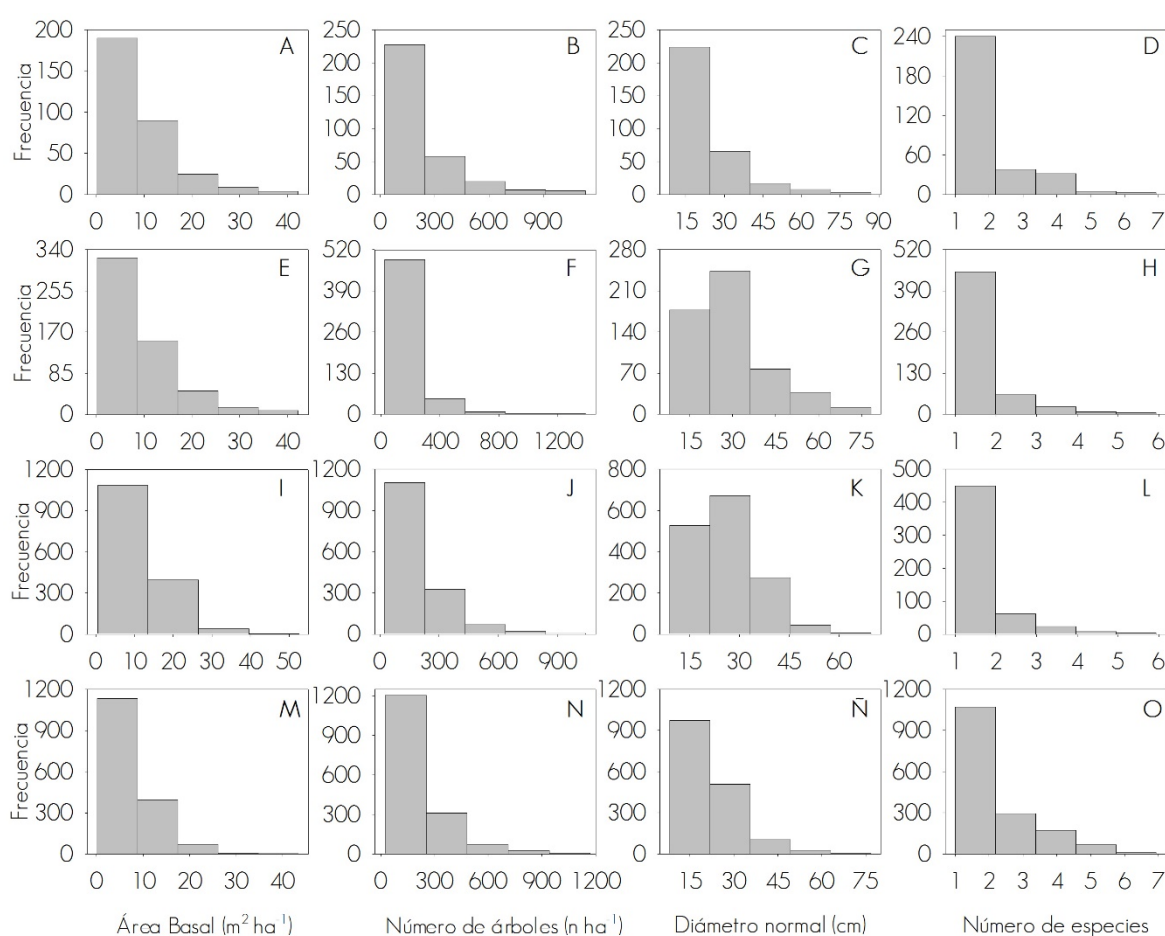
Variable	Barrenadores	Defoliadores	Descortezadores	Muérdagos
B01 (°C)	9.5-25.0 (14.3)	-	-	-
B03 (°C)	-	0.4-0.8 (58.2) [†]	-	-
B04 (Sd) (°C)	-	-	5.1-63.2 (12.4)	-
B06 (°C)	0.0-16.2 (0.5)	0.0-17.5 (1.5)	-	0.0-16.8 (34.5)
B08 (°C)	-	-	3.3-26.2 (42.4) [†]	-
B10 (°C)	-	-	-	7.9-27.9 (1.1)
B12 (mm)	371.0-2595.0 (5.8)	-	-	19.1-311.3 (1.3)
B14 (mm)	1.0-54.0 (1.2)	-	-	-
B15 (mm)	-	50.0-114.0 (10.1)	48.0-118.0 (3.4)	-
B18 (mm)	94.0-864.0 (0.3)	51.0-908.0 (0.3)	74.0-875.0 (9.5)	50.0-967.0 (0.1)
B19 (mm)	-	14.0-278.0 (1.8)	17.0-370.0 (7.3)	13.0-370.0 (2.0)
Aba (m ² ha ⁻¹)	0.2-42.2 (1.2)	0.1-42.2 (1.1)	0.4-65.6 (15.0)	0.1-43.3 (7.7)
Arb (n ha ⁻¹)	25.0-1134.2 (4.0)	25.0-1389.5 (1.8)	25.0-1040.0 (2.1)	25.0-1170.0 (3.8)
Dnp (cm)	8.8-86.9 (1.6)	8.0-78.2 (0.6)	9.2-69.4 (0.3)	8.1-76.7 (1.3)
Nsp (n)	1.0-6.9 (66.7) [†]	1.0-5.9 (24.6)	1.0-7.9 (7.4)	1.0-6.9 (46.8) [†]

B01 = Temperatura promedio anual; B03 = Isotermalidad; B04 = Estacionalidad de la temperatura; B06 = Temperatura mínima promedio del periodo más frío; B08 = Temperatura promedio del cuarto anual más húmedo; B10 = Temperatura promedio del cuarto anual más cálido; B12 = Precipitación anual; B14 = Precipitación del periodo más seco; B15 = Estacionalidad de la precipitación; B18 = Precipitación del cuarto anual más cálido; B19 = Precipitación del cuarto anual más frío; Aba = Área basal por hectárea; Arb = Número de árboles por hectárea; Dnp = Diámetro normal promedio por hectárea; Nsp = Número de especies; [†] = Variable más importante de acuerdo a la prueba de Jackknife; Sd = Desviación estándar.

Los porcentajes de contribución están entre paréntesis.

Bosques y plagas forestales

De acuerdo con los datos del INFyS, la observación de plagas forestales en bosques de México ha sucedido en sitios con menos de 15 m² de área basal por hectárea (Figura 3 B, F, J, N) y menos de tres especies (Figura 3 D, H, L, O).



A – D = Barrenadores; E – H = Defoliadores; I – L = Descortezadores;
M – O = Muérdagos.

Figura 3. Distribución de registros de presencia de plagas; con respecto a variables dasométricas.

La homogeneidad en estructura y edad de los bosques son determinantes para la incidencia de insectos descortezadores (Raffa *et al.*, 2008); desafortunadamente, en este estudio no se analizó la variabilidad entre sitios para ese tipo de plaga, lo que permitiría corroborar tal hipótesis, aunque con los datos disponibles se observa que los sitios con categorías diamétricas pequeñas son preferidos por barrenadores y muérdagos (Figura 3 C y Ñ); mientras que defoliadores y descortezadores se presentan, en mayor medida, en bosques más maduros (Figura 3 G y K), lo que se podría deber a una menor resistencia de los árboles a ser atacados, en especial si se trata de los del segundo tipo.

Las altas densidades del arbolado no parecen ser los sitios favoritos para los tipos de plaga aquí estudiados (Figura 3 B, F, J, N), puesto que la mayor parte de la presencia de descortezadores se ha observado en sitios con densidades menores de $30 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y de 500 individuos (de coníferas) ha^{-1} (Figuras 3 I y J), como lo registrado por Íñiguez (1999) quien analizó la densidad arbolada de sitios sanos e infestados en Nuevo León y consignó una densidad media de 455 árboles ha^{-1} ; el autor concluyó que no existen diferencias significativas en la densidad de ambos sitios. En contraste, Cuellar *et al.* (2013) establecieron que, a mayor densidad de arbolado, aumenta el riesgo de ataque de descortezadores en el sur de dicha entidad.

La contradicción con los resultados que aquí se exponen puede explicarse, principalmente, porque la toma de datos del INFyS no se realiza sobre sitios donde dichos escarabajos existen en condición de plaga, puesto que son un elemento natural de los bosques (Salinas *et al.*, 2010). En el INFyS solo se consigna la presencia o ausencia de los insectos y no se especifican datos sobre su demografía; por lo tanto, sería conveniente hacer estudios en sitios donde se tenga la seguridad de una infestación masiva de plagas forestales.

El análisis de los datos no aporta información sobre alguna especie de plaga forestal en particular, lo que amplía el área de oportunidad para desarrollar estudios posteriores y que, a la vez, representa una limitación. Sin embargo, en ausencia de trabajos de distribución sobre la mayoría de plagas forestales y la inclusión de parámetros dasométricos del bosque, se ofrece una aproximación sobre las zonas forestales que deberían recibir mayor atención por parte de las instancias correspondientes.

Conclusiones

La temperatura es el factor más influyente en la distribución de los defoliadores y descortezadores. La mayor superficie forestal con condiciones climáticas y dasométricas óptimas es Chihuahua para la presencia de barrenadores, que comparativamente, es la más reducida; Oaxaca, Guerrero y Chiapas para defoliadores, que corresponde al territorio más extenso; Chihuahua y Durango para muérdagos; Chihuahua, Michoacán, Estado de México, Nuevo León y Jalisco para descortezadores, principalmente. Las características dasométricas son un componente importante de la distribución de plagas forestales; sin embargo, parece influir en la incidencia de barrenadores y muérdagos, en particular. Es importante observar con cautela la información sobre la distribución de plagas forestales presentada en este documento, puesto que no se refiere a una especie sino a un conjunto de ellas agrupadas por afinidad.

Agradecimientos

El estudio descrito se derivó del proyecto financiado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (registro Conafor-2014; C01-234547). Se agradece, en particular, a la Comisión Nacional Forestal (Conafor) por apoyar con información sobre plagas forestales.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Librado Sosa Díaz, Cecilia Guadalupe Ruiz González y Juan Carlos Montoya Jiménez: recolección y análisis de datos y elaboración del manuscrito; Jorge Méndez González: apoyo en análisis estadísticos e interpretación de resultados y revisión del manuscrito; Mario Alberto García Aranda, Víctor Hugo Cambrón Sandoval, José Ángel Villarreal Quintanilla: revisión del manuscrito.

Referencias

- Allouche, O., A. Tsoar and R. Kadmon. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43(6): 1223-1232.
- Armendáriz, T. and G. Zúñiga. 2017. Illustrated key to species of genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) occurring in Mexico and Central America. *Journal of Insect Science* 17(2): 1–15.
- Barbosa, A. M. 2015. fuzzySim: applying fuzzy logic to binary similarity indices in ecology. *Methods in Ecology and Evolution* 6: 853-858.
- Bentz, B. J., J. Régnière, C. J. Fettig, E. M. Hansen, J. L. Hayes, J. A. Hicke, R. G. Kelsey, J. F. Negrón and S. J. Seybold. 2010. Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects. *BioScience* 60(8): 602-613.
- Brandt, J. P., Y. Hiratsuka and D. J. Pluth. 2005. Germination; penetration and infection by *Arceuthobium americanum* on *Pinus banksiana*. *Canadian Journal of Forest Research* 35(8): 1914-1930.
- Cibrián T., D., A. Lagunes T., H. Bravo M., J. L. Carrillo-Sánchez, C. Sosa M. y J. Vera G. 1998. Control de insectos de conos y semillas de árboles forestales. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(2): 285-296.

- Castro, J. 1981. Contribución al estudio de la biología del defoliador de pino *Neodiprionfulviceps* (Cresson) complex (Hymenoptera: Diprionidae) en el estado de Chihuahua. *Revista Ciencia Forestal* 30(6): 43-51.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2012. Clima en México. http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=103& (25 de octubre de 2016).
- Contreras, R., I. Luna y C. A. Ríos. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: modelos ecológicos de nicho; efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 421-433.
- Cuellar R., G., A. Equihua, E. Estrada, T. Méndez, J. Villa y J. Romero. 2012. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) atraídos a trampas en el noreste de México y su correlación con variables climáticas. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 13(2): 12-19.
- Cuéllar R., G., A. Equihua M., J. Villa C., E. G. Estrada V., T. Méndez M. y J. Romero N. 2013. Análisis espacio-temporal de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. atacados por *Dendroctonus mexicanus* Hopkins. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(17): 42-49.
- Del Val, E. y R. Sáenz 2017. Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 20(2): 53-60.
- Díaz O., B. E. 1988. Biología del barrenador de semillas de coníferas *Cydia miscitata* Heinrich en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California. *Revista Ciencia Forestal* 13(63): 15-27.
- Elith, J. 2000. Quantitative methods for modeling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. *In*: Ferson, S. and M. A. Burgman (eds.). *Quantitative methods in Conservation Biology*. Springer-Verlag. New York, NY USA. pp. 39-58.

- Galindo G., J., L. R. Sánchez V. and C. R. Montiel. 2011. First report of *Megatimus* sp. (Hymenoptera: Torymidae) damaging *Abies* spp. (Pinales: Pinaceae) seeds in Veracruz, Mexico. Entomological News 122(1): 79-84.
- Gan, J. 2004. Risk and damage of southern pine beetle outbreaks under global climate change. Forest Ecology and Management 191: 61-71.
- González G., E., F. Bonilla T., S. Quiñones B., G. Sánchez M., F. Tafoya R., M. P. España L., J. Lozano G. y S. Robles U. 2014. Guía para la identificación de moscas sierra de la familia Diprionidae presentes en el centro norte de México. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Ags., México. 36 p.
- Hernández M., G., J. C. Soto C., V. H. Cambrón S. y I. Avilés C. 2017. Explosión de la abundancia de descortezadores, un acontecimiento adelantado a la primavera en el bosque de pino en Hidalgo. Entomología Forestal 4: 425-530.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
- Hijmans, R. J., S. Phillips, J. Leathwick and J. Elith. 2016. Package dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.1-1. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo> (18 de abril de 2016).
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación Serie V. Datos vectoriales. Escala: 1:250.000. Aguascalientes, Ags., México (15 de mayo de 2016).
- Iñiguez, H. G. 1999. Sistema de clasificación de riesgo para *Dendroctonus frontalis* y *D. mexicanus* en "El Manzano" en Villa de Santiago, Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N.L., México. 77 p.

- López G., V., V. J. Arriola P. y R. Pérez M. 2015. Daños por factores abióticos y bióticos en bosques de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.) de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(29): 56-73.
- Mendoza, Ma. G., Y. Salinas M., A. Olivo M. and G. Zúñiga. 2011. Factors influencing the geographical distribution of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the Sierra Madre Occidental, México. *Environmental Entomology* 40(3): 549-559.
- Palma O., S. y J. Delgadillo R. 2014. Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California; México. *Botanical Sciences* 92(4): 587-597.
- Pearson, R. G., C. J. Raxworthy, M. Nakamura and A. Townsend. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 102-117.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Pliscoff, P. y T. Fuentes. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía de Norte Grande* 48: 61-79.
- Quantum Geographic Information System (QGIS). 2016. Open Source Geospatial Foundation Project. QGIS Development Team. Version 2.16. <https://qgis.org> (15 de enero de 2016).
- Queijeiro B., M. E. y Z. Cano S. 2015. Dinámica temporal de la infestación por muérdago enano (*Arceuthobium globosum* y *A. vaginatum*) en Zoquiapan (Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl); México. *CienciaUAT9* (2): 06-14.
- Raffa, K. F., B. H. Aukema, B. J. Bentz, A. L. Carroll, J. A. Hicke, M. G. Turner and W. H. Romme. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience* 58(6): 501-517.

R Core Team. 2017. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (15 de febrero de 2016).

Ramírez D., J. F. y E. Porcayo C. 2010. Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium sp.*) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca; México. Bosque 31(1): 28-38.

Rodríguez, A., A. Equihua, J. Cibrián, E. G. Estrada, J. T. Méndez, J. Castillo y R. M. Barrón. 2013. Fluctuación de *Dendroctonus adjunctus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) y sus depredadores atraídos por Frontalina + Alfa-Pineno; en Los Pescados, Veracruz, México. Revista Chilena de Entomología 38: 41-50.

Salinas M., Y., C. F. Vargas, G. Zúñiga, J. V. Ager y J. L. Hayes. 2010. Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional. Comisión Nacional Forestal. Zapopan; Jal., México. 90 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2009. Inventario nacional forestal y de suelos 2004-2009; una herramienta que da certeza a la planeación; evaluación y desarrollo forestal de México. Guadalajara, Jal., México. 22 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2015. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales - SNIARN. Comisión Nacional Forestal; Gerencia de Sanidad Forestal. <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales/badesniar?De=SNIARN> (15 de octubre de 2016).

Vázquez C., I., A. Villa R. y S. Madrigal H. 2006. Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán. Libro Técnico Núm. 2. Inifap. División Forestal. Uruapan, Mich., México. 93 p.