

Distribución potencial de insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* en la Sierra Madre Occidental de Durango, México

Potential distribution of bark beetles of genera *Dendroctonus* and *Ips* on the Sierra Madre Occidental of Durango, Mexico

Daniela Mitzuko Carrillo-Aguilar*, Mónica Yazmín Flores-Villegas**,
Pedro García-Ramírez***, Jorge Armando Chávez-Simental****,
Pedro Antonio Domínguez-Calleros*****✉

Carrillo-Aguilar, D. M., Flores-Villegas, M. Y., García-Ramírez, P., Chávez-Simental, J. A., & Domínguez-Calleros, P. A. (2021). Distribución potencial de insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* en la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e3240, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843240>

RESUMEN

La información sobre la distribución de las plagas forestales en función a su preferencia climática en la región de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango es escasa. El presente estudio analizó la distribución de las especies *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y otros insectos, utilizando la herramienta MaxEnt (Máxima Entropía). Los registros obtenidos sobre la presencia de estos insectos fueron proporcionados por la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SRNyMA) del estado de Durango. Los modelos resultantes son razonables de acuerdo al valor del estadístico Área Bajo la Curva (AUC) utilizado para su validación. Con un aproximado de 118 mil hectáreas (idoneidad alta) *Dendroctonus frontalis/mexicanus* fue la especie que destacó en esta variable. Por otra parte, las variables más importantes para el modelamiento de las especies analizadas son las derivadas de la temperatura.

Palabras clave: descortezadores; escarabajos; insectos; plagas forestales; probabilidad de ocurrencia.

Recibido: 4 de junio de 2021 **Aceptado:** 6 de septiembre de 2021

* Programa de Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera al Mezquital Km 11.5, C. P. 34307, Durango, Durango, México. Correo electrónico: mitzuko.aguilar@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9012-7173>

** Universidad Politécnica de Durango. Carretera Durango-México Km. 9.5, C. P. 34300, Durango, Durango, México. Correo electrónico: monica.flores@unipolidgo.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2052-607X>

*** Consultoría en Ciencias Agropecuarias y Forestales independiente. Enebros 322, El Ciprés, C. P. 34027, Durango, Durango, México. Correo electrónico: garp820203@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2457-0695>

**** Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. Blvd. Guadiana # 501, Fracc. Ciudad Universitaria, C. P. 34120, Durango, Durango, México. Correo electrónico: jorge.chavez@ujed.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-8829>

***** Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Blvd. Durango S/N, Col. Valle del Sur, C. P. 34120, Durango, Durango, México. Correo electrónico: pdomingc@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9520-2817>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

Information on the distribution of forest pests according to their climatic preference in the Sierra Madre Occidental region of the state of Durango is limited. In the present study, the distribution of the species *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *Dendroctonus valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* and other insects is analyzed, using the MaxEnt (Maximum Entropy) tool. The records obtained on the presence of these were provided by the Secretary of Natural Resources and Environment (SRNyMA) of the state of Durango. The resulting models are reasonable according to the value of the Statistical Area Under the Curve (AUC) used for their validation. With an approximate of 118 thousand hectares (high suitability) *Dendroctonus frontalis/mexicanus* was the most notable specie in this variable. On the other hand, the most important variables for modeling the analyzed species are those derived from temperature.

Keywords: debarkers; beetles; insects; forest pests; probability of occurrence.

INTRODUCCIÓN

En México los bosques templados ocupan 16% del territorio (SEMARNAT, 2016), en ellos se encuentra gran parte de la biodiversidad nacional. El estado de Durango se considera la primera reserva forestal del país con aproximadamente 2 millones de hectáreas de bosques de coníferas (SEMARNAT-CONAFOR, 2014) (figura 1); en esta región, se encuentran 20 familias de coníferas importantes, en donde destaca la familia *Pinaceae* (Graciano-Ávila, Aguirre-Calderón, Alanís-Rodríguez, & Lujan-Soto, 2017) con especies comerciales importantes como *Pinus engelmannii*, *P. herrerae*, *P. cembroides* y *P. chihuahuana* (De León Mata, García Arévalo, Andrade Herrera, & Ruiz Marín, 2013; Ríos-Saucedo, Valenzuela-Núñez, & Rosales-Serna, 2019).



Figura 1. Bosques de coníferas en el estado de Durango susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Fotografía del equipo de investigación.

Las principales afectaciones de la mayoría de los bosques son por incendios, deforestación, enfermedades y plagas (SEMARNAT, 2016). Dentro de las plagas, los insectos descortezadores de la subfamilia Scolytidae, principalmente los escarabajos de los géneros *Dendroctonus* e *Ips*, son considerados los primeros agentes bióticos que causan daños importantes y grandes pérdidas económicas (Atkinson, 2013); en contraste, también son esenciales en el saneamiento natural de los ecosistemas y promueven la biodiversidad de los mismos (Salinas-Moreno et al., 2009).

En México, las plagas forestales afectaron un promedio de 50,843 ha de 1990 a 2014, de las cuales 39% fue atacado por descortezadores; Durango fue la segunda entidad donde se registró la mayor afectación, con un promedio anual de 4,904 ha con presencia de plagas (SEMARNAT, 2016). Además, durante el periodo de 2010 a 2012 el norte del país sufrió una sequía prolongada que generó las condiciones adecuadas para incrementar el desarrollo de infestaciones severas de estos insectos (Cibrián et al., 2013). Al respecto, Moore y Allard (2009) mencionan que los factores climáticos influyen en el desarrollo, reproducción y supervivencia de insectos plaga. El estrés en los bosques templados ha aumentado en la última década debido al calentamiento global; además que el cambio climático provoca mayor incidencia de plagas forestales (Romero Sánchez, 2016), ya que los insectos son muy sensibles a los cambios en las variables climáticas y responden a las alteraciones del clima incrementando o disminuyendo sus parámetros poblacionales; tales como reproducción y tamaño poblacional, entre otros.

Según Grageda Grageda, Ruiz Corral, Jiménez Lagunes y Fu Castillo (2014), uno de los posibles impactos es el incremento del número de generaciones de los insectos, lo que puede indicar que los costos de control se incrementarían; sin embargo, Hódar, Zamora y Cayuela (2012) mencionan que el costo de control a mediano y largo plazo podrían disminuir, siempre y cuando se comience con la gestión integral que favorezca la biodiversidad para aumentar la resiliencia de estos. El aumento de la temperatura incrementa el número de descortezadores (Sosa Díaz et al., 2018), así como su capacidad de infestación y propicia el estrés de los árboles, lo que implica que disminuya su capacidad de defenderse ante el ataque de insectos (Del-Val & Sáenz-Romero, 2017; Raffa et al., 2008).

Para determinar la distribución de especies es necesario que el área geográfica sea caracterizada por la probabilidad de ocurrencia de las mismas (Kéry, 2011), basándose en los registros históricos de las especies y el conocimiento sobre sus dinámicas poblacionales (Maciel-Mata, Manríquez-Morán, Octavio-Aguilar, & Sánchez-Rojas, 2015). La construcción de modelos de distribución de especies se asocia principalmente con diferentes variables independientes que describen las condiciones ambientales que delimitan su presencia (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). En las últimas décadas se ha utilizado el algoritmo MaxEnt (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006) para la generación de modelos de distribución de especies (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014; Sosa Díaz et al., 2018). Este algoritmo solo requiere datos de presencia/ausencia de las especies y de diversas variables bioclimáticas para estimar la distribución (Phillips & Dudík, 2008). Los resultados de los modelos se expresan en "ganancia", la cual va aumentando de acuerdo con cada variable que evidencia los requerimientos ecológicos de cada especie analizada (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014; Phillips & Dudík, 2008).

El objetivo del presente estudio fue generar modelos de distribución potencial de *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y otros insectos y determinar las variables que inciden en su desarrollo con la finalidad de identificar las áreas

de afectación potencial y facilitar la aplicación de medidas de prevención y control en el manejo de los bosques a través de análisis FODE en donde se discutan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, así como la necesidad de potenciar las fortalezas y oportunidades y disminuir los riesgos y debilidades del bosque, lo que representa una alternativa para su fácil detección y monitoreo, así como el impulso a una buena estructuración de los planes de manejo de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En el estado de Durango se seleccionaron las unidades de manejo forestal (UMAFOR) 1005, 1006, 1007, 1008, 1009 y 1010 (figura 2), donde predominan los bosques de pino, pino-encino y encino-pino en los puntos de muestreo (INEGI, 14 de diciembre de 2017); el clima del área corresponde a semifrío subhúmedo y templado subhúmedo (INEGI, 2008).

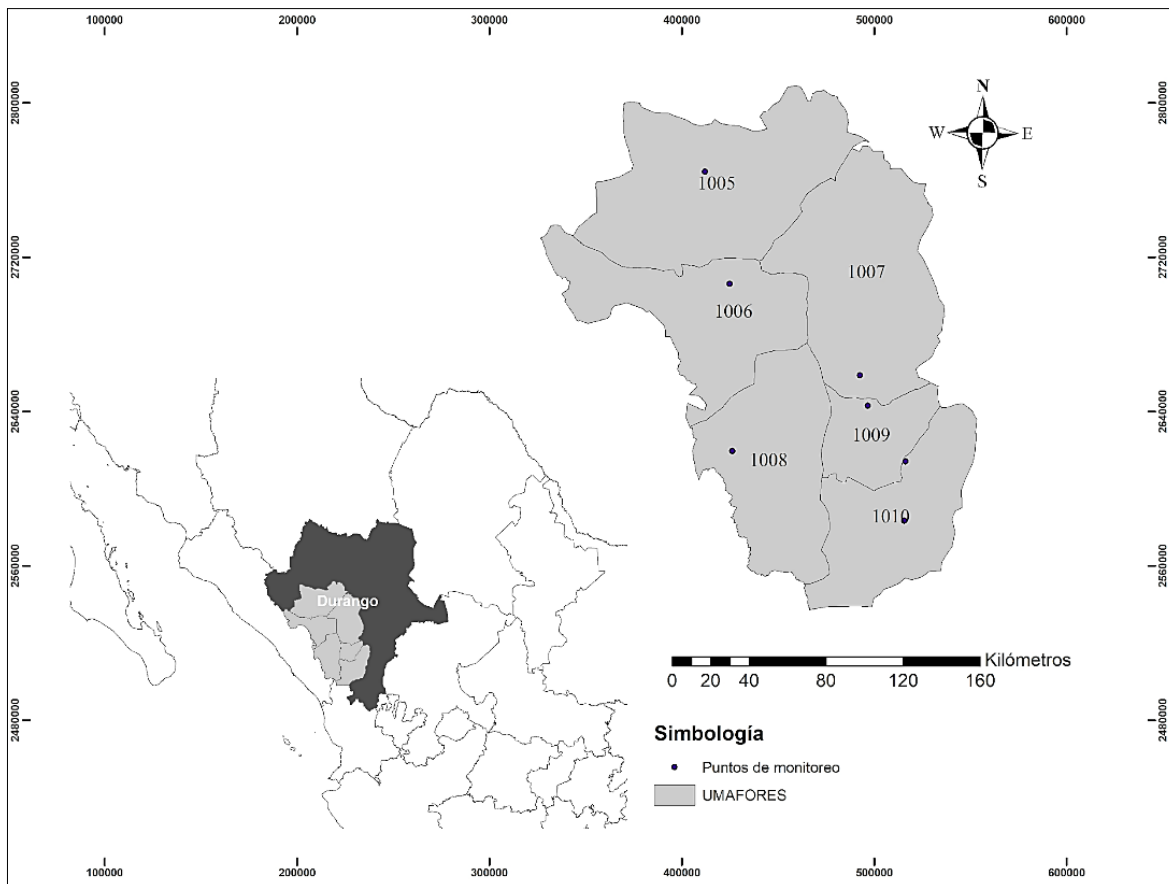


Figura 2. Área de estudio en el estado de Durango, México, señalando los puntos de muestreo dentro de las UMAFORES seleccionadas.
Elaboración propia.

Registros de descortezadores

Los registros que indican la presencia de descortezadores fueron proporcionados por la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (s. f.) Se utilizó un total de siete puntos de muestreo (tabla 1), con una periodicidad de muestreo mensual durante los 12 meses de 2019, para ello se emplearon trampas multiembudo con feromonas a base de frontalina, endobrevicomina y Kairomonas para las especies de *Dendroctonus*; para las especies de *Ips* los atrayentes fueron a base de Ipsenol, Lamierone e Ipsdienol (formada por 12 embudos con una altura de 150 x 30 cm de diámetro, las cuales se colocaron a más de 20 m de distancia de cualquier árbol susceptible) sobre especies de *Pinus*. Se seleccionaron los datos que se ubicaron dentro del polígono de estudio a través del programa ArcMap del paquete ArcGis (versión 10.8).

En el área de estudio se identificaron por medio de especialistas de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del estado de Durango especies de *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y se agregó otra categoría denominada *Otros insectos*, agrupando coleópteros no identificados, Curculinidae identificados en la zona y *Dendroctonus* no identificados. Para evaluar la abundancia de las especies de insectos descortezadores predominantes en cada punto de muestreo se realizó un análisis descriptivo (media, desviación estándar, valor mínimo y máximo) del número de individuos mediante el programa estadístico R Core Team (s. f.).

Tabla 1
Principales sitios de monitoreo de insectos descortezadores

Municipio	UMAFOR	Ejido	Paraje	Latitud(decimal)	Longitud(decimal)
Santiago Papasquiaro	1005	Los Altares	Mesa del cristo	24.99583	-105.871389
San Dimas	1006	Vencedores y Anexos	Alto de monito	24.46716	-105.741427
Durango	1007	Otinapa y San Carlos	Mesa del oso	24.99583	-105.741427
Pueblo Nuevo	1008	Los Bancos	El panda	23.68422	-105.722444
Durango	1009	El Tecuán	Centro de Capacitación	23.89708	-105.032694
Pueblo Nuevo	1010	San Bernardino de Milpillas Chico	Mesa de cebollas	23.36028	-104.847056
Durango	1010	La casita	Cañitos	23.63825	-104.840333

Nota: Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (s. f.).

Variables bioclimáticas, topográficas y cartográficas

Para determinar la distribución potencial de las especies se usó un total de 48 variables ambientales, topográficas y cartográficas. Se analizaron la temperatura y precipitación promedio mensual de 12 meses del año 2019 (NASA, s. f.) y 19 variables bioclimáticas (tabla 2) (WorldClim, s. f.). Todas las variables ambientales utilizadas cuentan con una resolución espacial de 30 segundos de arco (1 km). Las variables topográficas incluyeron la pendiente, exposición y altitud. La variable altitud con una resolución de 30 m se obtuvo de la página oficial del INEGI (s. f.); la variable pendiente y exposición se calcularon utilizando ArcToolbox, Spatial Analyst, Analyst Surface en el software ArcMap versión 10.8 (Esri, s. f.). Las variables cartográficas con escala 1:250,000, edafología Serie II (INEGI, 2011) y uso de

suelo y vegetación Serie VI (INEGI, 14 de diciembre de 2017), las cuales se convirtieron a formato ráster para homogeneizarlas.

Tabla 2
Variables bioclimáticas de WorldClim utilizadas para el modelo de distribución de los descortezadores

Clave	Nombre de la variable
B01	Temperatura media anual (°C)
B02	Rango diurno medio (promedio mensual (°C máx. – °C mín.))
B03	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (x100)
B04	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar x 100)
B05	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
B06	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
B07	Rango anual de temperatura (°C) (BIO5-BIO6)
B08	Temperatura media del trimestre más húmedo (°C)
B09	Temperatura media del trimestre más seco (°C)
B10	Temperatura media del trimestre más seco (°C)
B11	Temperatura media del trimestre más frío (°C)
B12	Precipitación anual (mm)
B13	Precipitación del mes más húmedo (mm)
B14	Precipitación del mes más seco (mm)
B15	Estacionalidad de precipitación (coeficiente de variación %)
B16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm)
B17	Precipitación del trimestre más seco (mm)
B18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
B19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

Nota: Tomada de WorldClim (s. f.).

Los ráster obtenidos se dimensionaron al área de estudio a través del programa ArcMap (versión 10.8) del paquete ArcGis. Después se convirtieron a formato ASCII utilizando herramientas del mismo software.

Modelo de Máxima Entropía (MaxEnt)

Para generar los modelos de distribución potencial de cada especie (*Dendroctonus mexicanus/frontalis*, *D. valens*, *Ips lecontei*, *Ips pini* y otros insectos) se utilizó el algoritmo Maximum Entropy (MaxEnt 3.4.4) (Phillips et al., 2006). Esto permitió generar un modelo logístico, con una probabilidad de 0-1, donde 0 indica pixeles que no representan hábitat y valores cercanos a 1 representan mayor probabilidad de presencia de especies (Cruz-Cárdenas, Villaseñor, López-Mata, Martínez-Meyer, & Ortiz, 2014). Debido al reducido número de registros de presencia de las especies y de acuerdo con la metodología propuesta por Giménez, Giannini, Schiaffini y Martín (2015) para generar los modelos se realizaron 10 réplicas con 1,200 iteraciones y 10,000 puntos de *background points* para lograr una mayor precisión en el modelamiento.

Para establecer un modelo que tenga un mejor desempeño con menos variables se generó el primer modelo utilizando 48, del que se eliminaron aquellas con contribución 0%, realizándose posteriormente una segunda estimación con las restantes. Este proceso permitió realizar un remuestreo *Jackknife*, determinando cuáles variables contribuyen mejor al modelo. Después de realizar una segunda estimación se generó un archivo de salida en formato ASCII para cada especie (Loaiza, 2017).

Validación del modelo

Para conocer la idoneidad del modelo, se implementó el estadístico Área Bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés), una predicción razonable se considera con valores mayores a 0.7 y cercanos a 1 (Peterson et al., 2011); asimismo, se empleó la prueba Receiver Operating Characteristic (ROC) para determinar el ajuste del modelo (Aceves-Rangel, Méndez-González, García-Aranda, & Nájera-Luna, 2018). Posteriormente, las capas del modelo se exportaron a ArcMap y se convirtieron a un archivo vectorial en donde se reclasificaron los valores en baja, media y alta (Villaseñor Ríos, López-Mata, Cruz-Cárdenas, Ortiz Bermúdez, & Cadena Rodríguez, 2014) utilizando como mínimo de presencia el valor de *Minimum training presence* (Loaiza, 2017); lo anterior permite estimar la dimensión de las áreas potenciales (Hernández-Ruiz et al., 2016) y generar el mapa de distribución potencial de *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y otros insectos.

RESULTADOS

De acuerdo con el análisis estadístico de los registros, en las UMAFOR 1005 y 1010 predominan *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, con promedio mensual de 990.16 y 140.83 individuos y desviación de 1,175.25 y 104.27, respectivamente (tabla 3). Dentro de los bosques de la UMAFOR 1007, la especie *Ips pini* mostró una mayor incidencia con un valor máximo de 3,495 individuos y una media anual de 1,288.25; en la UMAFOR 1009 también predominó esta especie, con una media anual de 782.83 individuos (tabla 3). En la UMAFOR 1006 se encontró a *D. frontalis/mexicanus* como la especie con mayor presencia, con un valor máximo de 383 individuos, y en la UMAFOR 1008, *Ips pini* con un valor máximo de 253 individuos; en estos dos últimos sitios se registró menor presencia de insectos descortezadores.

Tabla 3
Análisis descriptivo de los sitios de monitoreo de la SRNyMa del año 2019

UMAFOR	Especie	Abundancia			
		Media	Máximo	Mínimo	SD
1005	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	990.16	3 585	2	1 175.25
	<i>Dendroctonus valens</i>	1.08	8	1	2.23
	<i>Ips pini</i>	470	1 569	6	576.03
	<i>Ips lecontei</i>	36.66	126	5	39.15
	Otros insectos no identificados	303.30	256	14	14
1006	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	80.33	384	13	105.17
	<i>Dendroctonus</i> no identificados	0.5	2	1	1.24
	<i>Ips pini</i>	90.75	273	6	107.52
	<i>Ips lecontei</i>	34.5	164	2	53.72
	Otros insectos no identificados	78.66	82	4	62.02
1007	<i>Dendroctonus frontalis</i>	27.16	113	1	34.91
	<i>Dendroctonus valens</i>	0.66	6	1	1.72
	<i>Ips pini</i>	1 288.25	3 495	36	1 023.36
	<i>Ips lecontei</i>	72.75	219	7	58.02
	Otros insectos no identificados	107.5	70	7	61.11
1008	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	27.41	113	1	34.76
	<i>Dendroctonus valens</i>	3.5	25	1	7.01
	<i>Ips pini</i>	39.24	253	36	74.2
	<i>Ips lecontei</i>	10.66	35	7	11.6
	Otros insectos no identificados	58.6	85	12	75.23
1009	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	47.08	305	2	88.43
	<i>Dendroctonus valens</i>	0.33	3	1	0.88
	<i>Ips pini</i>	782.83	1 939	25	514.32
	<i>Ips lecontei</i>	119.16	316	2	113.62
	Otros insectos no identificados	177	160	14	176.14
1010	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	140.08	425	5	104.27
	<i>Dendroctonus valens</i>	1.41	7	1	2.46
	<i>Ips pini</i>	89.83	381	6	60.84
	<i>Ips lecontei</i>	19.83	57	1	22.9
	Otros insectos no identificados	37	52	6	26.82

Nota: SD: Desviación estándar.
Elaboración propia.

Modelos de distribución potencial

La validación del modelamiento en MaxEnt fue óptima para las especies analizadas, ya que los valores de Área Bajo la Curva de cada modelo se ubicaron en un rango de 0.70 a 0.90 (tabla 4). De acuerdo con la curva ROC, los modelos resultantes son mejores que uno aleatorio, mostrando un rango de error omisión y comisión mínimo, ya que las líneas de entrenamiento y prueba se mantuvieron lo más juntas posibles.

Tabla 4
Valores del AUC de los modelos generados en MaxEnt

	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	<i>Dendroctonus valens</i>	<i>Ips pini</i>	<i>Ips lecontei</i>	Otros insectos
AUC/validación	0.877	0.755	0.706	0.905	0.783

Nota: Elaboración propia.

Variables ambientales de importancia

De acuerdo con el método *Jackknife*, la variable que aumenta la ganancia de los modelos para las especies de *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *Ips lecontei* y otros insectos es la temperatura media del trimestre más húmedo (B08), mientras que para *Dendroctonus valens* e *Ips pini* es la altitud.

Perfil ecológico

La contribución de cada una de las variables varía para cada especie (tabla 5). Sin embargo, las variables que mejor explican la distribución de las especies analizadas son las derivadas de la temperatura. Se puede observar que para *D. frontalis/mexicanus*, *Ips pini* y otros insectos la variable con mayor porcentaje de contribución es la temperatura media del trimestre más seco (B10), para *Ips lecontei* es la temperatura media del trimestre más húmedo (B08) y para *D. valens* la temperatura media anual (B01).

Tabla 5
Variables que contribuyen a definir la presencia de insectos descortezadores

Contribución de tres principales variables (%)				
<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	<i>Dendroctonus valens</i>	<i>Ips pini</i>	<i>Ips lecontei</i>	Otros insectos
B10 = 62.9	B01 = 33.8	B10 = 67.2	B08 = 83.6	B10 = 78.1
B08 = 23	B08 = 24.5	B08 = 15.3	P6 = 7.4	P8 = 6.6
P6 = 7.7	Altitud = 21.3	Altitud = 7	B03 = 5.3	B08 = 6.4

Nota: B01: Temperatura media anual; B03: Isotermalidad; B08: Temperatura media del trimestre más húmedo; B10: Temperatura media del trimestre más seco; P6: Precipitación promedio de junio del año 2019; P08: Precipitación promedio de agosto del año 2019.
Elaboración propia.

Mapa de distribución potencial

De la superficie total en el área de estudio, 11% está distribuido en baja, media y alta probabilidad para *D. mexicanus/frontalis*, 14.41% para *Ips lecontei*, 20.36% para *Ips pini*, 20.59% para *D. valens* y la mayor distribución en superficie con 20.74% se obtuvo con otros insectos (figura 3).

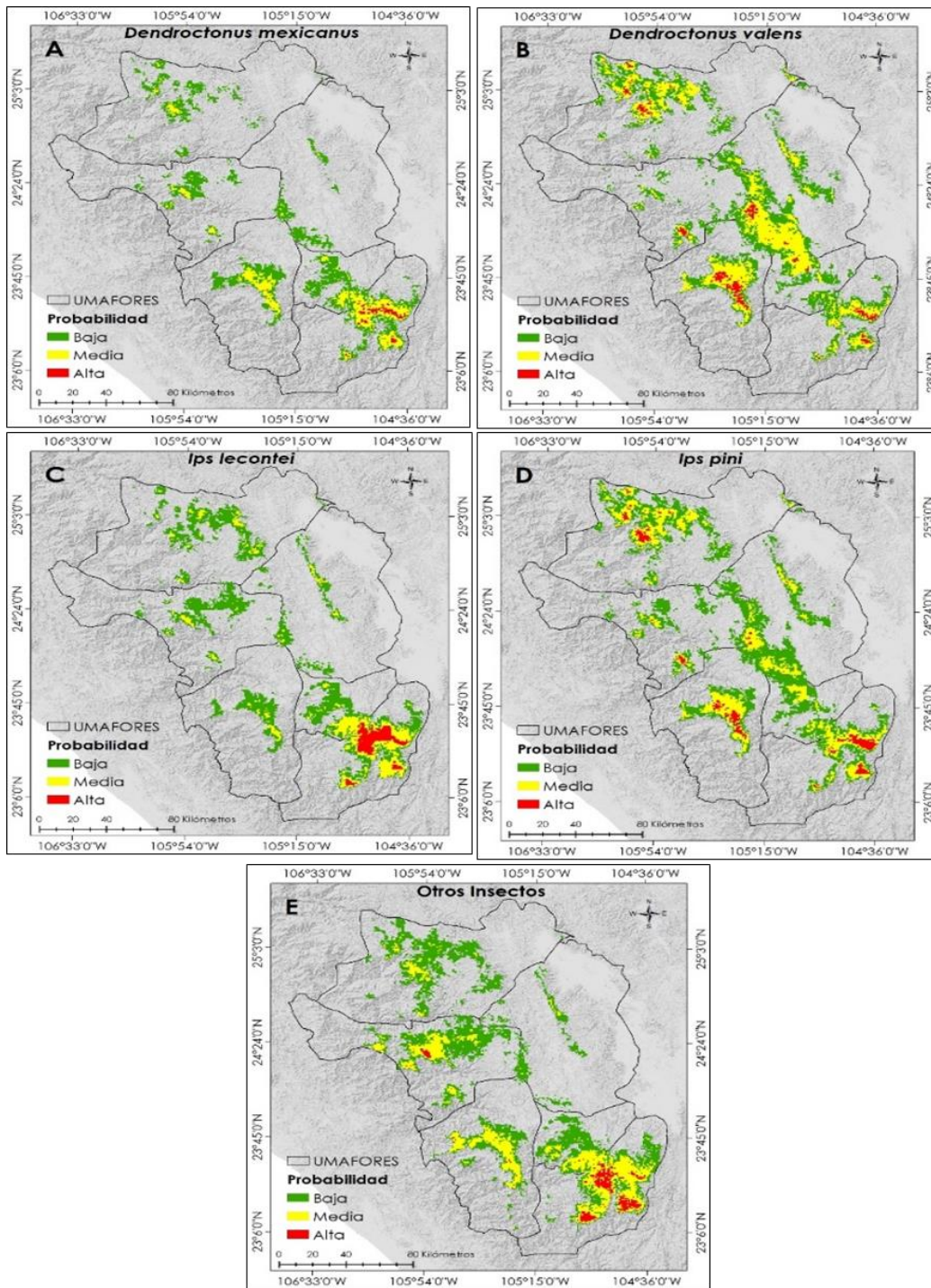


Figura 3. Distribución potencial de *D. mexicanus/frontalis* (A), *D. valens* (B), *I. lecontei* (C), *I. pini* (D) y otros insectos (E).
Elaboración propia.

Análisis de la superficie de distribución potencial de las especies estudiadas

En el área de estudio (UMAFOR 1005, 1006, 1007, 1008, 1009 y 1010) la especie con mayor área de idoneidad alta es *Dendroctonus frontalis/mexicanus* con 118,630.57 ha, sigue *Ips pini* con 38,590.42 ha, *Ips lecontei* con 36,455.03 ha, para otros insectos 35,959.50 ha y *D. valens* con 36,922.43 ha (tabla 6). En zonas con media probabilidad la especie *D. valens* cuenta con mayor superficie, en segundo lugar, se encuentran otros insectos, sigue *Ips pini* y con menor área *D. frontalis/mexicanus* e *Ips lecontei* (tabla 6). La especie con mayor área de baja probabilidad es otros insectos, en segundo lugar, se encuentra *Ips pini*, y con menor área *D. frontalis/mexicanus*, *I. lecontei* y *D. valens* (tabla 6).

Tabla 6
Superficie del área de probabilidad de presencia (ha) de las especies de insectos descortezadores analizadas

	<i>D. frontalis/mexicanus</i>	<i>D.valens</i>	<i>Ips lecontei</i>	<i>I. pini</i>	Otros insectos
Nula	3 153, 057.02	281,580.66	3 034,181.21	2 823,440.60	2 809,902.81
Baja	278,922.55	412,426.31	363,106.32	468,787.07	477,545.05
Media	101,190.93	280,404.63	111,291.52	214,215.94	221,616.33
Alta	118,630.57	36,922.43	36,455.03	38,590.42	35,959.50

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo los modelos se consideraron adecuados con un AUC mayor a 0.7, ya que los resultados obtenidos coinciden con la investigación de Peterson et al. (2011), quienes indican que para una predicción razonable este valor es mejor al encontrarse en un rango de 0.7 a 0.9. Otros autores mencionan que en un rango mayor de 0.80 se considera un modelo muy bueno (Gutiérrez Hernández, Cámara Artigas, Sensiales González, & García, 2018), como fue para *D. frontalis/mexicanus* e *Ips lecontei* en esta investigación; a diferencia de Felicísimo et al. (2011), que mencionan que en un rango de AUC > 0.75 – <0.85 el modelo es aceptable, mientras que un valor <0.75 es deficiente.

Los resultados señalan que las variables derivadas de la temperatura tienen una mayor contribución para explicar la distribución de las distintas especies de insectos descortezadores; Zúñiga, Cisneros, Hayes y Macías-Sámamo (2002) sugieren que existe una relación entre el movimiento de dispersión de los géneros de descortezadores e *Ips*, según el de sus huéspedes si se considera lo propuesto por Aceves-Rangel et al. (2018), quienes mencionan que la temperatura promedio anual presenta una contribución a la distribución de especies de pinos en México. También pueden ser atribuibles las altas temperaturas, sequía y baja humedad relativa que estresan al árbol y lo hacen más susceptible al ataque de insectos (Del-Val & Sáenz-Romero, 2017; Raffa et al., 2008). De forma conjunta, el descenso en la temperatura implica que las poblaciones de insectos descortezadores disminuyan (Morales-Rangel, Cambrón-Sandoval, Vergara-Pineda, & Obregón-Zúñiga, 2016; Raffa et al., 2008). Coincidiendo con lo reportado en este estudio, Méndez Encina, Méndez González y Cerano Paredes (2020) obtuvieron que la variable con mayor contribución (76.6%) para la distribución de *D. mexicanus* es la B10 (temperatura media del trimestre más seco).

En cuanto al análisis de la variable altitud en esta investigación, para *I. pini* y *D. valens* es una variable importante en el modelamiento de la distribución de estas especies. De acuerdo con Aguilar-Castillo, Aguilar-Astudillo y Domínguez (2020) un rango de elevación de 2,500 a 4,000 m es el más apropiado para el desarrollo de los insectos descortezadores. Por otra parte, Salinas-Moreno et al. (2004) reportaron que el género *Dendroctonus* se puede distribuir desde los 800 hasta los 3,929 m, con un rango preferencial de elevación desde 2,100 hasta 3,500 m, dependiendo de la especie.

Los resultados de este estudio muestran que la especie con mayor área de alta idoneidad es *Ips pini* y con menor probabilidad de presencia la especie *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, lo que contrasta con lo reportado por Salinas-Moreno et al. (2009), quienes mencionan que *D. frontalis* no se distribuye en esta región. Sin embargo, esto pudiera deberse a que en el muestreo realizado en esta investigación se contabilizaron ambas especies en una misma categoría, ya que de acuerdo a Zúñiga, Cisneros y Salinas (1995), los escarabajos *D. frontalis* y *D. mexicanus* tienen una gran semejanza morfológica.

En cuanto a las especies de *Ips*, son consideradas plagas secundarias que hacen daño al arbolado en conjunto con alguna especie primaria, generalmente *Dendroctonus* (Sánchez-Martínez & Wagner, 2002); sin embargo, la especie *Ips pini* en el estado de Durango es considerada plaga primaria capaz de matar por sí sola al arbolado (Alianza México REDD+, 2015). Los modelos de cambio climático relacionados con los *Ips* sp. proyectan que los eventos de sequía cada vez son más y severos, por lo que se pronostica que la mortalidad de los árboles por la combinación de estrés hídrico, aumento de la temperatura ambiente, aumente en consecuencia (Gaylord, McKelvey, Fettig, & McMillin, 2020); por lo que la generación de modelos de distribución potencial de insectos descortezadores favorece el buen manejo de las áreas forestales sostenibles en la Sierra Madre Occidental de Durango; de acuerdo con Monterrubio-Rico et al. (2016), estos modelos han sido aplicados con mayor frecuencia como técnicas para el manejo y conservación de la biodiversidad.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que la temperatura es el factor que más influye en la distribución de los descortezadores. Por otra parte, la especie con mayor área de idoneidad es la *Dendroctonus frontalis/mexicanus* y la *Ips pini*; sin embargo, no existe suficiente información sobre la distribución potencial de esta última especie, siendo un área de oportunidad para futuras investigaciones

La información generada puede ser de utilidad para fomentar el control integral de plagas forestales (descortezadores e *Ips*) y que sea plasmado dentro de los planes de manejo forestal de la región, así como para la toma de decisiones en la Comisión Nacional Forestal y las Unidades de Manejo Forestal de cada región. No obstante, es recomendable generar modelos con mayor número de registros de especie, dado que las condiciones pueden ser diferentes.

REFERENCIAS

- Aceves-Rangel, L. D., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., & Nájera-Luna, J. A. (2018). Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia*, 52(7), 1043-1057. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n7/2521-9766-agro-52-07-1043-en.pdf>
- Aguilar-Castillo, C. E., Aguilar-Astudillo, E., & Domínguez, A. N. (2020). *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) y su relación con la temperatura en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. *Dugesiana*, 27(1), 17-24. doi: 10.32870/dugesiana.v27i1.7091
- Alianza México REDD+. (2015). *Guía práctica. Control de infestaciones por insectos descortezadores de coníferas en Durango y Chihuahua* [Documento en pdf]. Recuperado de <http://www.alianza-mredd.org/M-REDD%2BGuiaControllInfestacionesDurangoChihuahua.pdf>
- Atkinson, T. H. (2013). Estado de conocimiento de la taxonomía de los escarabajos descortezadores y ambrosiales de México (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Memorias del XVI Simposio Nacional de Parasitología Forestal* (pp. 13-27). Cuernavaca, México: Comisión Nacional Forestal-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Recuperado de <https://docplayer.es/95327402-Estado-de-conocimiento-de-la-taxonomia-de-los-escarabajos-descortezadores-y-ambrosiales-de-mexico-coleoptera-curculionidae-scolytinae.html>
- Cibrián, D., Quiñonez, S., Aguilar, J. L., Quiñonez, S. A., Santos, J. M., Rodríguez, S. J., & Hernández, G. (2013). *Guía práctica. Control de infestaciones por insectos descortezadores de coníferas*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo-SEMARNAT.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(2), 187-201. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.09.034
- De León Mata, G. D., García Arévalo, A., Andrade Herrera, S., & Ruiz Marín, A. (2013). Distribución de la vegetación a través de un transecto sobre la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 30-40. Recuperado de <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v9-n1-5-distribucion-de-la-vegetacion-a-traves-de-un-transecto-sobre-la-sierra-madre-occidental-de-durango-mexico.pdf>
- Del-Val, E., & Sáenz-Romero, C. (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. doi: 10.1016/j.recqb.2017.04.006
- Esri. (s. f.). ArcMap versión 10.8 [Programa informático]. Recuperado de <https://www.esri.com/en-us/arcgis/arcgis-full-motion-video>
- Felicísimo, A. M., Mateo, R. G., Muñoz, J., Felipe, B., Sánchez, J., Salvatierra, H. C., & Herrera, M. M. (2011). *FORCLIM, Bosques y cambio global. 1. Modelos de distribución de especies. Fundamentos de las IDE. Argentina*. Madrid: Bubok Publishing. Recuperado de http://repositorio.umaza.edu.ar/bitstream/handle/00261/1556/Felicismoetal2011_FORCLIM1CYTED-SDMsIDESArgentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gaylord, M. L., McKelvey, S. R., Fettig, C. J., & McMillin, J. D. (2020). Verbenone inhibits attraction of *Ips pini* (Coleoptera: Curculionidae) to pheromone-baited traps in Northern Arizona. *Journal of Economic Entomology*, 113(6), 3017-3020. doi: 10.1093/jee/toaa192

- Giménez, A. L., Giannini, N. P., Schiaffini, M. I., & Martin, G. M. (2015). Geographic and potential distribution of a poorly known South American bat, *Histiotus macrotus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Acta Chiropterologica*, 17(1), 143-158. doi: 10.3161/15081109ACC2015.17.1.012
- Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Luján-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(12), 535-542. doi: 10.19136/era.a4n12.1114
- Grageda Grageda, J., Ruiz Corral, J. A., Jiménez Lagunes, A., & Fu Castillo, A. A. (2014). Influencia del cambio climático en el desarrollo de plagas y enfermedades de cultivos en Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(especial 10), 1913-1921. doi: 10.29312/remexca.v0i10.1026
- Gutiérrez Hernández, O., Cámara Artigas, R., Senciales González, J. M., & García, L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: Aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88-126. doi: 10.21138/bage.2395
- Hernández-Ruiz, J., Herrera-Cabrera, B. E., Delgado-Alvarado, A., Salazar-Rojas, V. M., Bustamante-Gonzalez, Á., Campos-Contreras, J. E., & Ramírez-Juárez, J. (2016). Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 235-246. doi: 10.15517/rbt.v64i1.17854
- Hódar, J. A., Zamora, R., & Cayuela, L. (2012). Cambio climático y plagas: Algo más que el clima. *Ecosistemas*, 21(3), 73-78. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/700/679>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.). Relieve continental [Base de datos]. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/>
- _____ (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1 000 000. Unidades climáticas [Mapa]. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- _____ (2011). *Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. Escala 1:250,000. Serie II* [Documento descargable en pdf]. Aguascalientes, México: Autor. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bv/inegi/productos/nueva_estruc/702825231606.pdf
- _____ (14 de diciembre de 2017). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Union) [Metadato geográfico]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250s6gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Kéry, M. (2011). Towards the modelling of true species distributions. *Journal of Biogeography*, 38(4), 617-618. doi: 10.1111/j.1365-2699.2011.02487.x
- Loaiza S., C. R. (2017). Área de vida, distribución potencial y estado de conservación de *Espositoa frutescens* Madsen, 1989 (Cactaceae). *Ecología Aplicada*, 16(1), 1-7. doi: 10.21704/rea.v16i1.897
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: Revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19. doi: 10.15174/au.2015.690
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. doi: 10.4067/S0716-078X2011000200008

- Méndez Encina, F. M., Méndez González, J., & Cerano Paredes, J. (2020). Distribución actual y potencial de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins bajo dos escenarios de cambio climático. *Madera y bosques*, 26(2), 1-14. doi: 10.21829/myb.2020.2622002
- Monterrubio-Rico T. C., Charre-Medellín J. F., Pacheco-Figueroa, C., Arriaga-Weiss, S., Valdez-Leal, J. D., Cancino-Murillo, R.,... Rubio-Rocha, Y. (2016). Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1103-1117. doi: 10.1016/j.rmb.2016.06.004
- Moore, B., & Allard, G. (2009). *Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-k3837s.pdf>
- Morales-Rangel, A., Cambrón-Sandoval, V. H., Vergara-Pineda, S., & Obregón-Zúñiga, J. A. (2016). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 Y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) y su asociación con variables climáticas en bosques de pino en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, México. *Entomología Mexicana*, 3, 633-638. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323430830_FLUCTUACION_POBLACION_AL_DE_Dendroctonus_frontalis_Zimmerman_1868_Y_Dendroctonus_mexicanus_Hopkins_1909_COLEOPTERA_CURCULIONIDAE_SCOLYTINAE_Y_SU_ASOCIACION_CON_VARIABLES_CLIMATICAS_EN_BOSQUES_DE_PINO_E
- National Aeronautics and Space Administration. (s. f.). Giovanni [Aplicación para visualizar parámetros geofísicos]. Recuperado de <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- Palma-Ordaz, S., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 587-597. doi: 10.17129/botsci.135
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*. Princeton, UK: Princeton University Press. doi: 10.1515/9781400840670
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175. doi: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x
- Raffa, K. F., Aukema, B. H., Bentz, B. J., Carroll, A. L., Hicke, J. A., Turner, M. G., & Romme, W. H. (2008). Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: The dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience*, 58(6), 501-517. doi: 10.1641/B580607
- R Core Team. (s. f.). *A language and environment for statistical computing* [Lenguaje de programación]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.r-project.org/>
- Ríos-Saucedo, J. C., Valenzuela-Núñez, L. M., & Rosales-Serna, R. (2019). Evaluación de la biodiversidad vegetal en áreas de bosque templado en Durango, México. *Ciencia e Innovación*, 2(1), 179-199. Recuperado de <http://cienciaeinnovacion.com.mx/wp-content/uploads/2020/05/articulo-7.pdf>
- Romero Sánchez, M. E. (2016). Escenarios de cambio climático en el sector forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(37), 4-6. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v7n37/2007-1132-remcf-7-37-00004.pdf>

- Salinas-Moreno, Y., Guadalupe Mendoza, M., Barrios, M. A., Cisneros, R., Macías-Sámamo, J., & Zúñiga, G. (2004). Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. *Journal of Biogeography*, 31(7), 1163-1177. doi: 10.1111/j.1365-2699.2004.01110.x
- Salinas-Moreno, Y., Vargas Mendoza, C. F., Zúñiga, G., Víctor, J., Ager, A., & Hayes, J. L. (2009). ATLAS DE Distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. México: Instituto Politécnico Nacional-Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Atlas%20Distribucion%20Descortezador.pdf>
- Sánchez-Marfín, G., & Wagner, M. R. (2002). Bark beetle community structure under five ponderosa pine forest stand conditions in northern Arizona. *Forest Ecology and Management*, 170(1-3), 145-160. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00771-X
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores claves, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015*. México: Autor. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional Forestal. (2014). *Inventario estatal forestal y de suelos-Durango 2013* [Documento en pdf descargable]. México: Autor. Recuperado de <https://idefor.cnf.gob.mx/interactive/documents>
- Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente. (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <http://medioambiente.durango.gob.mx/>
- Sosa Díaz, L., Méndez González, J., García Aranda, M. A., Cambrón Sandoval, V. H., Villarreal Quintanilla, J. A., Ruiz González, C. G., & Montoya Jiménez, J. L. (2018). Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 187-208. doi: 10.29298/rmcf.v9i47.159
- Villaseñor Ríos, J. L., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Ortiz Bermúdez, E., & Cadena Rodríguez, J. (2014). *Modelación de la riqueza y distribución potencial del bosque húmedo de montaña*. CONABIO JM013. D. F., México: Universidad Autónoma de México. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/JM013_Anexo_4_Manual_Procedimiento.pdf
- WorldClim. (s. f.). [Base de datos meteorológicos y climáticos]. Recuperado de <https://www.worldclim.org/>
- Zúñiga, G., Cisneros, R., & Salinas, Y. (1995). Coexistencia de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae) sobre un mismo hospedero. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 64, 59-62. doi: 10.21829/azm.1995.64641943
- Zúñiga, G., Cisneros, R., Hayes, J. L., & Macias-Samano, J. (2002). Karyology, geographic distribution, and origin of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 267-275. doi: 10.1603/0013-8746(2002)095[0267:KGDAOO]2.0.CO;2



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.